URANIO - Caratteristiche

Puro, l'uranio si presenta come un metallo bianco-argenteo, lievemente radioattivo e di poco più tenero dell'acciaio. È malleabile, duttile e debolmente paramagnetico. È un metallo molto denso (65% più denso del piombo). Diviso finemente, reagisce con l'acqua a temperatura ambiente; esposto all'aria si copre superficialmente di uno strato del proprio ossido.

L'uranio metallico si presenta in tre forme allotropiche

- α - ortorombico, stabile fino a 667,7°C
- β - tetragonale, stabile a temperature comprese tra 667,7 e 774,8°C
- γ - cubico a corpo centrato, stabile a temperature comprese tra 774,8°C ed il punto di fusione, è la forma più duttile e malleabile delle tre.

L'isotopo ^{235}U è importante sia per i reattori che per le armi nucleari perché è l'unico isotopo fissile esistente in natura in quantità apprezzabili. Anche ^{238}U può trovare impiego nei reattori nucleari, dove viene convertito in ^{239}U per assorbimento di neutroni termici, il quale decade in ^{239}Pu, fissile. Anche l'isotopo ^{233}U è fissile; viene prodotto per bombardamento con neutroni di ^{232}Th.

L'uranio fu il primo elemento fissile scoperto in natura; questa proprietà lo rende la principale materia prima per la bomba atomica e la costruzione e l'alimentazione di reattori nucleari.

Isotopi

L'uranio in natura è una miscela di tre isotopi, ^{238}U, ^{235}U, e ^{234}U, di cui ^{238}U è il più abbondante (99,3%). Questi tre isotopi sono radioattivi; il più stabile è ^{238}U (emivita: 4,5 $\times 10^9$ anni), seguono ^{235}U (7 $\times 10^8$ anni) e ^{234}U 2,5 $\times 10^5$ anni). ^{238}U emette particelle alfa decadendo in ^{206}Pb.

Gli isotopi dell'uranio vengono separati per aumentare la concentrazione di ^{235}U rispetto a ^{238}U; questo processo è chiamato *arricchimento*. L'uranio si considera "arricchito" quando la frazione di ^{235}U è considerevolmente maggiore del livello naturale (circa lo 0,7%), tipicamente su valori compresi tra il 3% ed il 7%. ^{235}U è il tipico materiale fissile per i reattori nucleari; sia ^{235}U che ^{239}Pu sono usati per la produzione di armi nucleari.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Arricchimento dell'uranio

Per ottenere un materiale fissile che sia adatto a scopi nucleari, cioè che emetta una quantità sufficiente di neutroni, è necessario aumentare la concentrazione dell'isotopo ^{235}U rispetto al più comune e meno radioattivo ^{238}U. Questo è un compito estremamente difficile: non è possibile separarli per via chimica, e l'unico modo è sfruttare la piccolissima (meno dell'1,5%) differenza di peso. Per fare questo si fa reagire l'uranio metallico con fluoro ottenendo esafluoruro di uranio (UF_6), un composto solido bianco, che sublima in fase gassosa al di sopra di 56 °C.

Questo composto viene usato nei due più comuni processi di arricchimento, l'arricchimento per diffusione gassosa e quello per centrifugazione del gas. Dopo l'arricchimento l'esafluoruro viene decomposto, riottenendo uranio metallico e fluoro gassoso.

Il processo di arricchimento produce enormi quantità di uranio impoverito, ossia uranio cui manca la corrispondente quantità di ^{235}U. L'uranio si considera *impoverito* quando contiene valori di ^{235}U generalmente compresi tra lo 0,2% e lo 0,3%.

Applicazioni

L'Uranio trova applicazione in due sue possibili forme: Uranio arricchito ed Uranio impoverito. Non è semplice fare una distinzione netta tra applicazioni civili e militari, in quanto esiste una permeabilità tra questi due utilizzi. Ad esempio, l'Uranio arricchito può essere usato come combustibile nei reattori nucleari civili, ma anche nei reattori nucleari dei sottomarini e delle portaerei militari a propulsione nucleare.

Applicazioni civili

L'uranio è un metallo molto denso e pesante. Per il suo elevato peso specifico, trova impiego come materiale di zavorra e contrappesi di equilibratura in aerei, elicotteri e in alcune barche a vela da regata. Nel settore civile il principale impiego dell'uranio è l'alimentazione dei reattori delle centrali elettronucleari, dove viene usato un uranio arricchito al 2-3% di ^{235}U. Esistono anche reattori come il canadese CANDU che possono essere alimentati da uranio naturale non preventivamente arricchito.

Tra gli altri usi si annoverano:

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- l'inclusione di sali di uranio nelle ceramiche e nei vetri, per colorare le prime e impartire una fluorescenza gialla o verde ai secondi;
- la datazione delle rocce ignee ed altri metodi di datazione geologica quali la datazione uranio-torio e uranio-piombo attraverso la misura della concentrazione di ^{238}U, la cui emivita è di circa 4,51 miliardi di anni;
- l'acetato di uranile, $UO_2(CH_3COO)_2$, trova impiego in chimica analitica; forma con il sodio un sale insolubile;
- il nitrato di uranio è usato in fotografia;
- i fertilizzanti fosfatici di origine minerale possono contenere relativamente alte quantità di uranio, presente come impurezza nei minerali di partenza;
- l'uranio metallico trova uso in dispositivi a guida inerziale e nelle bussole giroscopiche.

Applicazioni militari

La principale applicazione militare dell'Uranio è, nella sua forma arricchita nell'isotopo ^{235}U, come massa di reazione all'interno delle bombe atomiche o come innesco per le bombe termonucleari. La prima bomba atomica, Little Boy, venne realizzata nel contesto del Progetto Manhattan, durante gli anni della seconda guerra mondiale e venne sganciata nell'agosto del 1945 sulla città giapponese di Hiroshima (si veda Bombardamento atomico di Hiroshima e Nagasaki).

L'altra importante applicazione militare dell'Uranio si basa sul codiddetto Uranio impoverito, ovvero Uranio in cui la percentuale di ^{235}U è stata artificialmente ridotta (mediamente contiene lo 0,25-0,4% di ^{235}U, vedi oltre nello stesso articolo). L'uranio è un metallo molto denso e pesante, e proprio per questo viene utilizzato per rendere le corazzature dei carri armati particolarmente resistenti e per costruire munizioni anticarro (al posto del più costoso e meno efficiente Tungsteno).

Essendo la produzione di Uranio impoverito strettamente collegata al processo di arricchimento dell'Uranio naturale, del quale costituisce un sottoprodotto, solo gli Stati in grado di arricchire l'Uranio possiedono notevoli quantità di Uranio Impoverito. L'Italia non possiede scorte significative di questo materiale.

Un altro sottoprodotto importante con valore militare dell'Uranio è il Plutonio, che viene prodotto dalle reazioni nucleari che hanno luogo nella fissione del ^{235}U all'interno dei reattori nucleari. Il Plutonio viene utilizzato per costruire ordigni nucleari e come combustibile nei reattori nucleari al plutonio come il francese Superphenix.

Storia

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

L'uso dell'uranio, sotto forma del suo ossido, risale ad almeno al 79 AC; risalgono ad allora alcuni manufatti in ceramica colorati di giallo per aggiunta dell'1% di ossido di uranio rinvenuti in scavi nella zona di Napoli.

L'uranio è stato scoperto nel 1789 dallo scienziato tedesco bavarese Martin Heinrich Klaproth, che lo individuò in un campione di pechblenda. L'elemento prese il nome dal pianeta Urano, che fu scoperto otto anni prima dell'elemento.

L'uranio fu isolato come metallo nel 1841 da Eugene-Melchior Peligot ed è del 1850 il primo impiego industriale dell'uranio nel vetro, sviluppato dalla Lloyd & Summerfield di Birmingham, nel Regno Unito. La radioattività dell'uranio fu osservata per la prima volta dal fisico francese Henri Becquerel nel 1896.

Ricerca ed estrazione

L'esplorazione e l'estrazione di minerali radioattivi iniziò negli Stati Uniti al principio del XX secolo. I sali di radio, contenuti nei minerali dell'uranio, erano ricercati per il loro impiego in vernici fluorescenti da usarsi per quadranti di orologi ed altri strumenti, nonché per applicazioni mediche - rilvelatesi nei decenni successivi particolarmente insalubri.

La domanda di uranio crebbe durante la seconda guerra mondiale, durante la corsa delle nazioni in guerra alla realizzazione della bomba atomica. Gli Stati Uniti sfruttarono i loro giacimenti di uranio localizzati in numerose miniere di vanadio del sud-ovest ed inoltre acquistarono l'uranio dal Congo (all'epoca colonia belga) e dal Canada.

Le miniere del Colorado fornivano principlamente miscele di minerali di uranio e di vanadio ma, per via della segretezza applicata nel periodo bellico, solo quest'lutimo figurava pubblicamente come prodotto delle miniere. In una causa legale condotta molti anni più tardi, i lavoratori di quelle miniere si sono visti riconosciuti risarcimenti per le indennità loro dovute e mai pagate previste per l'estrazione di materiale radioattivo.

I minerali di uranio delle miniere americane non erano ricchi quanto quelli del Congo belga, ma venivano comunque estratti nello sforzo di raggiungere un'autosufficienza produttiva. Sforzi simili furono condotti dall'Unione Sovietica, anch'essa priva di scorte di uranio all'inizio del suo programma nucleare.

Ascesa e stagnazione dell'estrazione dell'uranio

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

La ricerca dell'uranio nel mondo trovò un grande impulso all'inizio della *guerra fredda*; gli Stati Uniti, al fine di garantirsi adeguate forniture di uranio da destinare alla produzione di armi, crearono nel 1946 la *Atomic Energy Commission* (AEC), incaricata di esplorare potenziali giacimenti per conto dello stato e di intervenire sul prezzo di mercato dell'uranio. L'AEC, fissando un prezzo elevato per i minerali di uranio, contribuì ad un vero e proprio *boom* nei primi anni '50.

Giacimenti furono scoperti nello Utah nel 1952, anche se la concentrazione di uranio era comunque inferiore a quella osservata in campioni provenienti dal Congo belga o dal Sudafrica: al picco dell'euforia mondiale per l'energia nucleare - negli anni '50 - furono anche presi in considerazione metodi per estrarre l'uranio e il torio dai graniti e dalle acque marine.

La domanda da parte dell'apparato militare statunitense iniziò a declinare negli anni '60 e le scorte di uranio furono completate entro la fine del 1970; nel contempo iniziò ad emergere il mercato dell'uranio per usi civili, ovvero per la realizzazione delle centrali elettriche termonucleari.

Negli Stati Uniti tale mercato collassò nell'arco di un decennio, come risultato di diversi fattori concomitanti ,tra cui la crisi energetica, l'opposizione popolare e l'incidente alla centrale di Three Mile Island nel 1979, che portò ad una moratoria *de facto* dello sviluppo delle centrali nucleari.

Diverso è lo scenario del nucleare civile in Europa; molte nazioni hanno sviluppato una considerevole capacità produttiva - tra esse la Francia, la Germania, la Spagna, la Svezia, la Svizzera, il Regno Unito.

In altre lo sviluppo dell'energia nucleare è stato fermato da azioni legali. In Italia l'uso dell'energia nucleare è stato bandito da un referendum tenutosi nel 1987.

Il collasso economico dell'Unione Sovietica e l'incuria nella manutenzione delle strutture porterà nel 1986 al disastro di Chernobyl.

Benché in diverse nazioni europee la produzione nucleare di energia elettrica sia in piena attività, la domanda mondiale di uranio rimane piuttosto contenuta. Dal 1981 i prezzi registrati dal Dipartimento per l'Energia degli Stati Uniti sono in continuo calo: da 32,90 $/lb di U_3O_8 del 1981 a 12,55 $/lb nel 1990 a meno di 10 $/lb nel 2000.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Rischi associati all'estrazione

Dato che l'uranio emette radon, un gas radioattivo, nonché altri prodotti di decadimento altrettanto radioattivi, l'estrazione mineraria di uranio presenta pericoli ulteriori che si sommano a quelli già esistenti nell'attività del minatore. Le miniere di uranio che non siano "a cielo aperto" richiedono adeguati sistemi di ventilazione per disperdere il radon.

Durante gli anni '50 molti dei minatori statunitensi impiegati nelle miniere di uranio erano nativi Navajos, dato che molte delle miniere erano collocate nelle loro riserve. A lungo andare molti di essi svilupparono forme di cancro al polmone. Alcuni di loro e dei loro discendenti sono stati beneficiari di una legge che nel 1990 ha riconosciuto il danno loro arrecato.

Tuballoy e *Oralloy*

Durante il lavoro del "progetto Manhattan", esigenze di segretezza fecero adottare i nomi di *tuballoy* e *oralloy* per riferirsi rispettivamente all'uranio naturale e all'uranio arricchito. Questi nomi sono ancora occasionalmente usati oggi.

Composti

Il tetrafluoruro di uranio (UF_4) è noto come "sale verde" ed è un prodotto intermedio nella produzione di esafluoruro di uranio.

Il concentrato di uranio viene detto Yellowcake. Prende questo nome dal colore e dalla scabrosità superficiale del materiale prodotto durante le prime operazioni minerarie, anche se i mulini odierni, lavorando ad alta temperatura, producono "yellowcake" di colori che vanno dal verde scuro al quasi nero.

Lo yellowcake contiene in genere dal 70% al 90% in peso di ossido di uranio (U_3O_8). Esistono altri ossidi, quali UO_2 e UO_3; il più stabile di tutti è U_3O_8, che in realtà viene considerato essere l'ossido misto $UO_2 \cdot 2UO_3$.

Il diuranato di ammonio è un prodotto intermedio nella produzione di yellowcake ed ha un colore giallo brillante. Viene a volte confuso con lo stesso "yellowcake", ma non è solitamente la stessa cosa.

Il nitrato di uranile ($UO_2(NO_3)_2$) è un sale di uranio solubile ed estremamente tossico.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Disponibilità

L'uranio è un elemento che si trova in natura, in basse concentrazioni, praticamente in tutte le rocce, in tutti i terreni e nelle acque. Viene considerato più abbondante dell'antimonio, del berillio, del cadmio, dell'oro, del mercurio, dell'argento, del tungsteno; ha circa la stessa abbondanza dell'arsenico e del molibdeno.

Si trova in molti minerali, come l'uraninite (il minerale di uranio più comune), l'autunite, l'uranofano, la torbernite e la coffinite. Si possono riscontrare concentrazioni di uranio significative anche in alcune sostanze come depositi di rocce fosfatiche e minerali come la lignite e la sabbia di monazite in minerali madre ricchi di uranio (viene estratto commercialmente anche da queste fonti).

Si ipotizza che la principale fonte del calore che mantiene liquido il nucleo della Terra e il soprastante mantello provenga dal decadimento dell'uranio e dalle sue reazioni nucleari con il torio nel nucleo della terra, generando così la tettonica a zolle.

I minerali di uranio, perché l'estrazione mineraria di uranio sia remunerativa, devono contenere una concentrazione minima di ossido di uranio che va dallo 0,05% al 0,2%.

Produzione e distribuzione

L'uranio viene prodotto industrialmente per riduzione dei suoi alogenuri con metalli alcalini o alcalino-terrosi. Può anche essere prodotto per elettrolisi di KUF_5 o UF_4 sciolti in $CaCl_2$ o NaCl fuso.

L'uranio metallico ad alta purezza viene ottenuto per deocmposizione termica di alugenuri di uranio su un filamento rovente.

Gli impianti elettronucleari civili statutnitensi hanno acquistato nel corso del 2001 circa 21300 tonnellate di uranio ad un prezzo medio di 26,39 $/Kg, circa il 16% in meno di quanto costava nel 1988; nello stesso anno la produzione statunitense di uranio è stata di 1018 tonnellate, da 7 miniere localizzate ad occidente del fiume Mississippi.

L'uranio è distribuito sul pianeta in maniera grossomodo uniforme; il Canada è uno dei maggiori produttori, con i suoi ricchi giacimenti in Saskatchewan, dove da tre miniere si estrae circa un quarto della produzione mondiale. Questa sovraproduzione unita al

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

controllo governativo sulla produzione ha un forte peso nel determiare il prezzo dell'uranio sui mercati internazionali.

Anche l'Australia possiede ampi giacimenti che rappresentano circa il 30% delle riserve note di uranio del pianeta. Il più grande singolo deposito di uranio del mondo è presso la *Olympic Dam Mine* nello stato dell'Australia Meridionale.

Precauzioni

Tutti i composti e gli isotopi dell'uranio sono tossici e radioattivi ad un livello potenzialmente letale. A dosi non letali, la tossicità dell'uranio può produrre danni ai reni. I danni da radiazione sono permanenti; le particelle inalate possono restare nelle vie respiratorie per lungo tempo.

L'uranio non viene assorbito attraverso la pelle; le particelle alfa che emette non sono in grado di attraversare la pelle, ciò rende l'uranio esterno al corpo molto meno pericoloso di quello inalato o ingerito.

Una persona può esporsi all'uranio sia inalandone le polveri nell'aria che ingerendolo con il cibo e con l'acqua; si calcola che l'assunzione media quotidiana di uranio sia compresa tra 0,7 e 1,1 microgrammi.

Persone che vivono in aree vicine a poligoni nucleari o a miniere che ne lavorano i minerali possono essere esposte a livelli di radioattività più elevati per via della produzione di polveri sottili e radon che vengono trasportati dai venti nelle zone circostanti.

Per la stessa ragione, senza un'adeguata ventilazione i lavoratori delle miniere sono esposti ad un elevato rischio di contrarre il cancro o altre malattie polmonari. Anche le acque usate dalle miniere per il trattamento del minerale possono diventare veicolo di contaminazione per le aree vicine. Ricerche condotte nel 2005 dall'Arizona Cancer Center su sollecitazione della Nazione Navajo, in cui sono ubicate alcune miniere di uranio, hanno scoperto capacità mutagene di questo elemento, che è in grado di penetrare nel nucleo cellulare e legarsi chimicamente al DNA, alterandolo e provocando errori nella produzione delle proteine, e portare le cellule in stato precanceroso.

Gli edifici costruiti su depositi di uranio (siano essi giacimenti o depositi di scorie) rischiano una elevata esposizione al radon che da essi si libera.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

L'uranio metallico, finemente suddiviso, può incendiarsi spontaneamente

---

Notable characteristics

When refined, uranium is a silvery white, weakly radioactive metal, which is slightly softer than steel. It is malleable, ductile, and slightly paramagnetic. Uranium metal has very high density, 65% more dense than lead, but slightly less dense than gold. When finely divided, it can react with cold water; in air, uranium metal becomes coated with uranium oxide. Uranium in ores can be extracted and chemically converted into uranium dioxide or other chemical forms usable in industry.

Uranium metal has three allotropic forms:

- alpha (orthorhombic) stable up to 667.7 °C
- beta (tetragonal) stable from 667.7 °C to 774.8 °C
- gamma (body-centred cubic) from 774.8 °C to melting point - this is the most malleable and ductile state.

Its two principal isotopes are ^{235}U and ^{238}U. Naturally-occurring uranium also contains a small amount of the ^{234}U isotope, which is a decay product of ^{238}U. The isotope ^{235}U or enriched uranium is important for both nuclear reactors and nuclear weapons because it is the only isotope existing in nature to any appreciable extent that is fissile, that is, fissionable by thermal neutrons. The isotope ^{238}U is also important because it absorbs neutrons to produce a radioactive isotope that subsequently decays to the isotope ^{239}Pu (plutonium), which also is fissile.

The artificial ^{233}U isotope is also fissile and is made from thorium-232 by neutron bombardment.

Uranium was the first element that was found to be fissile, i.e. upon bombardment with slow neutrons, its ^{235}U isotope becomes the very short lived ^{236}U, that immediately divides into two smaller nuclei, liberating energy and more neutrons. If these neutrons are absorbed by other ^{235}U nuclei, a nuclear chain reaction occurs and, if there is nothing to absorb some neutrons and slow the reaction, the reaction is explosive. The first atomic bomb worked by this principle (nuclear fission). A more accurate name for both this and

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

the hydrogen bomb (nuclear fusion) would be "nuclear weapon", because only the nuclei participate.

Applications

Before radiation was discovered, uranium was primarily used in small amounts for glass and pottery dyes (such as uranium glass and in Fiestaware). After the discovery of uranium radiation, and especially after the discovery of radium in uranium ores, these additional scientific and practical values of uranium were pursued.

After the discovery in 1939 that it could undergo nuclear fission, uranium gained new importance on the world political scene as many scientists independently realized it could be used for nuclear power or even for weapons purposes. During the Manhattan Project, the wartime Allied program to develop the first atomic bombs during World War II, the United States government bought up many reserves of uranium around the world although the process of enriching it to applicable levels required gargantuan facilities (see Oak Ridge National Laboratory). Eventually enough uranium, mainly from Democratic Republic of the Congo (Belgian Congo), was enriched for one atomic bomb, which was dropped on Hiroshima, Japan in 1945. The other nuclear weapons developed during the war used plutonium as their fissionable material, which itself requires uranium to produce. Initially it was believed that uranium was relatively rare, and that nuclear proliferation could be avoided by simply buying up all known uranium stocks, though within a decade large deposits of it were discovered in many places around the world.

Enriched uranium, which has been processed to have higher-than-natural levels of ^{235}U, can be used for a variety of purposes relating to nuclear fission. Commercial nuclear power plants use fuel typically enriched to 2-3% ^{235}U, though some reactor designs (such as the Candu reactors) can use natural uranium (unenriched, less than 1% ^{235}U) fuel. Fuel used for United States Navy submarine reactors is typically highly enriched in ^{235}U (the exact values are classified information). In nuclear weapons uranium is also highly enriched, usually over 90% (again, the exact values are classified information) to a level known as "weapons grade". In a breeder reactor, ^{238}U can also be converted into plutonium.

As uranium metal is very dense and heavy, depleted uranium (almost pure ^{238}U with less than 0.2% ^{235}U) is used by some militaries as shielding to protect tanks, and also in parts

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

of bullets, kinetic energy penetrators and missiles. It is additionally used in helicopters and airplanes as counterweights on certain wing parts.

Other uses include:

- The long half-life of the isotope ^{238}U (4.51×10^9 years) make it well-suited for use in estimating the age of the earliest igneous rocks and for other types of radiometric dating (including uranium-thorium dating and uranium-lead dating).
- Uranyl acetate, $UO_2(CH_3COO)_2$ is used in analytical chemistry. It forms an insoluble salt with sodium.
- Some lighting fixtures utilise uranium, as do some photographic chemicals (esp. uranium nitrate).
- Phosphate fertilisers often contain high amounts of natural uranium, because the mineral material from which they are made is typically high in uranium.
- Uranium metal is used for X-ray targets in making of high-energy X-rays.
- Its high atomic mass makes ^{238}U suitable for radiation shielding.
- Due to its high density, the element has found use in inertial guidance devices and in gyroscopic compasses; see uses of depleted uranium.

Occurrence

Uranium is a naturally occurring element found in low levels within all rock, soil, and water. This is the highest-numbered element to be found naturally in significant quantities on earth--- significant enough to have been utilized industrially since ancient times.

It is considered to be more plentiful than antimony, beryllium, cadmium, gold, mercury, silver, or tungsten and is about as abundant as arsenic or molybdenum. It is found in many minerals including uraninite (most common uranium ore), autunite, uranophane, torbernite, and coffinite. Significant concentrations of uranium occur in some substances such as phosphate rock deposits, and minerals such as lignite, and monazite sands in uranium-rich ores (it is recovered commercially from these sources).

The decay of uranium, thorium and potassium-40 in the Earth's mantle is thought to be the main source of heat[2][3] that keeps the outer core liquid and drives mantle convection, which in turn drives plate tectonics.

Uranium ore is rock containing uranium mineralisation in concentrations that can be mined economically, typically 1 to 4 pounds of uranium oxide per ton or 0.05 to 0.20 percent uranium oxide.

Compounds

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Uranium tetrafluoride (UF_4) is known as "green salt" and is an intermediate product in the production of uranium hexafluoride.

Uranium hexafluoride (UF_6) is a white solid which forms a vapor at temperatures above 56 degrees Celsius. UF_6 is the compound of uranium used for the two most common enrichment processes, gaseous diffusion enrichment and gas centrifuge enrichment. It is simply called "hex" in the industry.

Yellowcake is uranium concentrate. It takes its name from the colour and texture of the concentrates produced by early mining operations, despite the fact that modern mills using higher calcining temperatures produce "yellowcake" that is dull green to almost black. Initially, the compounds formed in yellowcakes were not identified; in 1970,the U.S. Bureau of Mines still referred to yellowcakes as the final precipitate formed in the milling process and considered it to be ammonium diuranate or sodium diuranate. The compositions were variable and depended upon precipitating conditions. Among the compounds identified in yellowcakes include: uranyl hydroxide, uranyl sulfate, sodium para-uranate, and uranyl peroxide, along with various uranium oxides. Modern yellowcake typically contains 70 to 90 percent uranium oxide (U_3O_8) by weight. (Other uranium oxides, such as UO_2 and UO_3, exist; the most stable oxide, U_3O_8, is actually considered to be a 2:3 molar mixture of these.)

Uranium dioxide a black, crystalline powder, once used in the late 1800s to mid-1900s in ceramic glazes is now is used mainly as nuclear fuel, specifically in the form of fuel rods.

Ammonium diuranate is an intermediate product in the production of yellowcake, and is bright yellow in colour.

Uranyl nitrate ($UO_2(NO_3)_2$) is an extraordinarily toxic, soluble uranium salt.

Uranium rhodium germanium (URhGe) is the first discovered alloy that becomes superconducting in the presence of an extremely strong electromagnetic field.

Uranium carbonate ($UO_2(CO_3)$) is found in both the mineral and organic fractions of coal and its fly ash and is the main component of uranium in mine tailing seepage water.

Isotopes

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Naturally occurring uranium is composed of three major isotopes, ^{238}U, ^{235}U, and ^{234}U, with ^{238}U being the most abundant (99.3% natural abundance). All three isotopes are radioactive, creating radioisotopes, with the most abundant and stable being ^{238}U with a half-life of 4.5×10^9 years, ^{235}U with a half-life of 7×10^8 years, and ^{234}U with a half-life of 2.5×10^5 years. ^{238}U is an α emitter, decaying through the uranium natural decay series into ^{206}Pb.

Uranium isotopes can be separated to increase the concentration of one isotope relative to another. This process is called "enrichment" (see enriched uranium). To be considered "enriched" the ^{235}U fraction has to be increased to significantly greater than 0.711% (by weight) (typically to levels from 3% to 7%). ^{235}U is typically the main fissile material for nuclear power reactors. Either ^{235}U or ^{239}Pu are used for making nuclear weapons. The process produces huge quantities of uranium that is depleted of ^{235}U and with a correspondingly increased fraction of ^{238}U, called depleted uranium or "DU". To be considered "depleted", the ^{235}U isotope concentration has to have been decreased to significantly less than 0.711% (by weight). Typically the amount of ^{235}U left in depleted uranium is 0.2% to 0.3%. This represents anywhere from 28% to 42% of the original fraction of ^{235}U.

Given that the half life of ^{235}U is considerably shorter than ^{238}U, the "depleted" uranium is still significantly radioactive, as is the natural uranium after refining.

Another way to look at this is as follows: Pressurised Heavy Water Reactors (PHWR) use natural uranium (0.71% fissile material). From Pressurised water reactors (PWRs) of typical design (most USA reactors are PWR) we note the fuel goes in with about 4% ^{235}U and 96% ^{238}U and comes out with about 1% ^{235}U, 1% ^{239}Pu and 95% ^{238}U. If the ^{239}Pu were removed (fuel reprocessing is not allowed in the USA) and this were added to the "depleted uranium" then we would have 1.2% fissile material in the reprocessed "depleted uranium" and at the same time have 1% fissile material in the left over "spent" fuel. Both of these would be considered "enriched" fuels for a PHWR style reactor.

^{233}U, an artificial isotope, is used as a reactor fuel in India. It has also been used in atomic bombs.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Uranio

In natura l'uranio non si trova allo stato puro, ma solo sotto forma di ossido o sale complesso, in minerali come la pechblenda e la carnotite. L'uranio puro è costituito per più del 99% dall'isotopo 238, per meno dell'1% dall'isotopo fissile uranio 235 e da tracce di uranio 234, prodotto dal decadimento radioattivo dell'uranio 238. Tra gli isotopi prodotti artificialmente vi sono l'uranio 233, l'uranio 237 e l'uranio 239. Si conoscono anche isotopi con massa variabile fra 222 e 242.

I minerali di uranio sono presenti in tutto il mondo; in particolare, depositi di pechblenda, il minerale più ricco di uranio, si trovano principalmente in Canada, Repubblica democratica del Congo e Stati Uniti. La maggior parte dell'uranio degli Stati Uniti deriva dalla carnotite presente in Colorado, Utah, New Mexico, Arizona e Wyoming. Un minerale detto coffinite, scoperto nel 1955 in Colorado, contiene fino al 61% di uranio. Depositi di coffinite si trovano in Wyoming

ESTRAZIONE

Il metodo classico di estrazione dell'uranio prevede che la pechblenda venga triturata e mescolata con acido solforico e nitrico. L'uranio si scioglie e forma il solfato di uranile (UO_2SO_4), mentre il radio e gli altri metalli del minerale vengono precipitati come solfati. Aggiungendo idrossido di sodio, si precipita il diuranato di sodio ($Na_2U_2O_7 \cdot 6H_2O$), noto anche come ossido giallo di uranio. Per ottenere l'uranio dalla carnotite, il minerale viene finemente polverizzato e mescolato con soda e potassa calde, che sciolgono l'uranio, il radio e il vanadio. Dopo aver eliminato le sabbie inutili, il composto viene trattato con acido solforico e cloruro di bario. Una soluzione caustica e alcalina aggiunta al liquido precipita l'uranio e il radio in forma concentrata. Questi metodi classici di estrazione dell'uranio dai suoi minerali sono stati sostituiti da procedure più moderne.

Separazione degli isotopi dell'uranio

L'isotopo fissile uranio 235 rappresenta solo lo 0,7% dell'uranio naturale, che è costituito prevalentemente dal più pesante e stabile uranio 238. Poiché i due isotopi sono chimicamente identici, non esistono metodi chimici che permettano di separare l'uranio 235 dall'uranio 238; per la separazione sono state studiate moltissime tecniche fisiche, che si basano, in linea di principio, sulla lieve differenza di peso fra i due tipi di atomo.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Un enorme impianto a diffusione gassosa fu realizzato durante la seconda guerra mondiale a Oak Ridge, nel Tennessee, e venne ingrandito al termine del conflitto; altri due impianti simili furono costruiti a Paducah, nel Kentucky, e a Portsmouth, nell'Ohio.

Il materiale di partenza è un gas estremamente corrosivo, l'esafluoruro di uranio, che viene pompato contro barriere che presentano molti milioni di minuscoli fori, attraverso i quali le molecole più leggere, che contengono l'isotopo 235 dell'uranio, si diffondono con velocità lievemente maggiore rispetto alle altre (*vedi* Diffusione). Quando il gas è passato attraverso migliaia di barriere, risulta notevolmente arricchito nell'isotopo di uranio più leggero e il prodotto finale, contenente oltre il 90% di uranio 235, è di qualità adatta alla produzione di armi.

Produzione di plutonio

L'isotopo uranio 238 (elemento con numero atomico 92) non è in grado di sostenere una reazione a catena, ma può essere convertito in un elemento fissile mediante bombardamento con neutroni. Quando un nucleo di uranio 238 cattura un neutrone, si trasforma in un isotopo ancora più pesante, l'uranio 239, che si disintegra rapidamente formando nettunio 239, un isotopo dell'elemento di numero atomico 93 (nettunio). Un'ulteriore disintegrazione tramuta questo isotopo in un isotopo dell'elemento con numero atomico 94, il plutonio 239. Quest'ultimo, come l'uranio 235, subisce fissione in seguito ad assorbimento di un neutrone e può essere pertanto usato come materiale per la fabbricazione di bombe nucleari soltanto se si dispone di un'intensa sorgente di neutroni; una tale sorgente può essere fornita ad esempio da una reazione a catena controllata in un reattore nucleare.

Durante la seconda guerra mondiale i reattori nucleari furono progettati in modo da fornire neutroni per produrre plutonio. Reattori in grado di trattare grandi quantità di uranio 238 furono messi in funzione a Hanford, nello stato di Washington, e nei pressi di Aiken, nel South Carolina.

Reattore nucleare

INTRODUZIONE

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Reattore nucleare Impianto in cui si alimenta e si controlla una reazione nucleare a catena, finalizzata alla produzione di energia, di armi nucleari o alla ricerca scientifica. Esistono due tipologie di reattori nucleari, basati su due tipi di reazione diverse: a fissione e a fusione. Di questi, soltanto i primi hanno un bilancio energetico positivo e sono quindi utilizzati per la produzione di energia elettrica; i reattori a fusione, invece, sono ancora in fase di messa a punto e sperimentazione (*vedi* Fusione nucleare).

Il primo reattore nucleare a fissione, passato alla storia come pila atomica, fu costruito e collaudato da Enrico Fermi e dai suoi collaboratori nel dicembre 1942, nella palestra dello stadio universitario di Chicago. Nell'esperimento fu accertata la possibilità di produrre una reazione a catena di fissione dell'uranio, capace di autosostenersi senza degenerare in esplosione. Da allora nel mondo sono stati progettati e costruiti reattori a fissione di diverso tipo, per scopi scientifici e commerciali.

PARTI DI UN REATTORE A FISSIONE

I principali componenti di un reattore a fissione sono il combustibile, il moderatore e il sistema di raffreddamento. I primi due elementi costituiscono il nocciolo del reattore, la zona in cui hanno luogo le reazioni nucleari; il sistema di raffreddamento, invece, circonda il nocciolo e preleva il calore prodotto trasferendolo alle turbine. Completano l'impianto diversi dispositivi di controllo, strumenti di misura, di schermatura e sistemi ausiliari e di emergenza.

Combustibile

Il combustibile è costituito da un materiale fissile, un composto di un elemento pesante come l'uranio o il plutonio. I nuclei di questi elementi, infatti, hanno la proprietà di andare incontro a fissione, spontaneamente o in seguito all'urto con altre particelle.

L'uranio può essere utilizzato in due forme: naturale o arricchita. L'uranio naturale contiene i diversi isotopi dell'elemento nelle stesse percentuali presenti in natura, vale a dire, più del 99% di uranio 238, una piccolissima percentuale di uranio 235 e una ancora minore di uranio 234. Dei tre, l'isotopo fissile vero e proprio è l'uranio 235; per questo, in alcuni reattori si utilizza, in luogo della miscela naturale, una miscela arricchita di uranio 235. L'uranio 238, che rappresenta la percentuale maggiore della miscela isotopica, può andare incontro a fissione solo in seguito all'urto con neutroni veloci; normalmente, invece, tende a catturare i neutroni da cui viene colpito. Ogni volta che un nucleo di uranio 238

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

cattura un neutrone, si trasforma in un nucleo instabile di uranio 239 che, attraverso due decadimenti beta successivi, si trasforma in plutonio 239. Quest'ultimo è anch'esso un nucleo fissile, utilizzabile come combustibile.

Moderatore

Il moderatore è una sostanza che viene inserita nel nocciolo della maggior parte dei reattori (detti reattori lenti), per rallentare i neutroni emessi come prodotti secondari nella fissione del combustibile. La necessità di rallentare i neutroni si deve alla loro funzione di catalizzatori: urtando a una velocità opportuna contro i nuclei di uranio 235, infatti, essi possono indurre altre fissioni, permettendo l'autosostentamento delle reazioni nel nocciolo.

Perché sia massima la probabilità di urto dei neutroni con i nuclei di uranio 235, e minima la probabilità di cattura da parte dell'uranio 238, è necessario che i neutroni abbiano un'energia dell'ordine dell'energia di agitazione termica, vale a dire, di circa 0,025 eV (da qui la denomninazione di neutroni termici). Poiché l'energia a cui normalmente vengono emessi è di gran lunga maggiore (circa 2 MeV, ossia quasi 100 milioni di volte maggiore), si fa in modo che, prima di colpire i nuclei di uranio, i neutroni urtino contro le molecole di una sostanza capace di rallentarli. Tale sostanza deve avere un peso molecolare contenuto, in modo che nell'urto i neutroni possano perdere grandi quantità di energia, e una densità sufficientemente elevata; per questo, a seconda dei casi si utilizza come moderatore acqua, acqua pesante (con deuterio anziché idrogeno), o grafite.

Sistema di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento preleva il calore prodotto nel nocciolo e lo trasferisce alle turbine. Nella maggior parte degli impianti il sistema di raffreddamento è composto da due circuiti: il calore prodotto nel nocciolo del reattore viene prelevato dal circuito primario e, attraverso uno scambiatore, viene trasferito a un circuito secondario, dove ha luogo la trasformazione in vapore; questo aziona le turbine del generatore, che produce energia elettrica. Il liquido che circola nel sistema può essere acqua o, nel caso dei reattori autofertilizzanti, un metallo liquido come il sodio.

Sistemi di controllo

Il livello di potenza di un reattore in funzione viene costantemente controllato attraverso la misurazione di una serie di parametri rilevanti come la temperatura, il flusso di calore e il livello di attività nucleare. La potenza in uscita viene regolata con l'introduzione o

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

l’estrazione dal nocciolo delle barre di controllo, elementi costituiti da un materiale capace di assorbire neutroni. La posizione delle barre viene determinata in modo che il numero di neutroni prodotti in ogni ciclo a catena si mantenga costante, e la reazione nucleare non assuma un andamento esplosivo.

Le radiazioni prodotte dal reattore durante la fissione e dai residui dei processi dopo lo spegnimento sono assorbite da blocchi massicci di cemento posti intorno al reattore e al circuito di raffreddamento primario. Altre strutture di sicurezza includono: un sistema di raffreddamento del nucleo, per impedirne il surriscaldamento e la successiva fusione in caso di avaria del sistema di raffreddamento principale; una costruzione esterna di contenimento che blocca qualsiasi tipo di fuga di materiale radioattivo in caso di malfunzionamento dell'impianto. Durante il funzionamento, e anche dopo il suo spegnimento, un grosso reattore di potenza da 1000 MW possiede una radioattività che può arrivare ad alcuni miliardi di curie.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Un reattore a fissione raccoglie e converte in altra forma l’enorme quantità di energia liberata nelle reazioni di fissione nucleare. Ogni fissione di un nucleo di combustibile produce due o più frammenti di fissione radioattivi, una media di 2,5 - 2,8 neutroni liberi e circa 200 MeV di energia. I frammenti di fissione rimangono nel corpo del combustibile, andando a costituirne le scorie. I neutroni, invece, possono avere tre destini diversi: essere assorbiti dai frammenti di fissione o dalle strutture di confinamento presenti a protezione del combustibile e del nocciolo; urtare in modo anelastico (perdendo energia) contro nuclei di uranio 238; urtare contro altri nuclei di uranio 235 e indurne la fissione.

Se si garantisce che per ogni reazione di fissione almeno uno dei neutroni prodotti urti contro un altro nucleo di combustibile dando luogo a un’altra fissione, si realizza una reazione controllata autosostenuta e il reattore si dice “critico”. Se il numero medio di neutroni efficaci per reazione è inferiore a uno, il reattore è sottocritico, e la reazione è destinata a esaurirsi; se, invece, il numero di neutroni è maggiore di uno, a ogni passo aumenta il numero di reazioni di fissione prodotte e il processo tende a degenerare in un’esplosione.

Reattori ad acqua leggera

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

I reattori ad acqua leggera (*Light Water Reactor*, LWR) sono oggi i più diffusi nel mondo per la produzione di energia elettrica. Richiedono come combustibile l'uranio arricchito – generalmente ossido di uranio al 3% di ^{235}U – in forma di barre disposte in fasci. Ne esistono due varianti: quella ad acqua pressurizzata (PWR, *Preesurized Water Reactor*) e quella ad acqua bollente (BWR, *Boiling Water Reactor*).

Nei reattori ad acqua pressurizzata, l'acqua funziona sia da moderatore che da refrigerante. Viene portata a una pressione altissima, di circa 150 atm, e pompata nel nocciolo del reattore dove, per effetto del calore prodotto dalle reazioni di fissione, raggiunge la temperatura di circa 325 °C. Incanalata attraverso un apposito circuito, l'acqua cede il calore accumulato a un circuito secondario; all'interno di questo secondo circuito, l'acqua viene riscaldata e convertita in vapore, per azionare i generatori a turbina. Il circuito secondario è isolato dal nucleo del reattore, perciò non è radioattivo. Chiude il ciclo un terzo circuito, che fa circolare acqua proveniente da un fiume, un lago o una torre di raffreddamento. La potenza sviluppata è di circa 1000 MW.

Nel reattore ad acqua bollente, l'acqua è mantenuta a pressione piuttosto bassa (circa 70 atm), per cui entra in ebollizione già all'interno del nocciolo. Il vapore prodotto viene mandato direttamente al generatore a turbina, condensato e quindi ripompato nel reattore. Come nei reattori PWR, infine, l'acqua di raffreddamento del condensatore proviene da un'altra fonte, come un fiume o un lago. In questo tipo di reattore, quindi, il vapore è radioattivo, perché non è presente uno scambiatore intermedio di calore tra reattore e turbina; l'impianto ha tuttavia il vantaggio di una maggiore efficienza del PWR.

Reattori ad acqua pesante

I reattori HWR (*Heavy Water Reactor*) utilizzano come combustibile l'uranio naturale. Poiché questo ha un rendimento inferiore rispetto all'uranio arricchito, impone l'impiego di un moderatore particolarmente efficiente, quale è l'ossido di deuterio (D_2O) o acqua pesante: l'acqua naturale, infatti, ha una maggiore probabilità di catturare neutroni.

Reattori di questo tipo vennero realizzati nei primi anni Cinquanta, quando ebbe inizio lo sfruttamento dell'energia nucleare e l'uranio arricchito era disponibile solo negli Stati Uniti e nell'allora Unione Sovietica. I primi programmi di produzione di energia nucleare di Canada, Francia e Gran Bretagna prevedevano quindi necessariamente l'impiego di uranio naturale. In Canada fu sviluppato un impianto di 20 reattori a deuterio-uranio, noto

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

come CANDU (Candian deuterium-uranium reactor), che fu successivamente copiato in India, Argentina e altri paesi.

Reattori a grafite

La grafite si presta a fare da moderatore in quanto caratterizzata da un basso potere di assorbimento dei neutroni. Per questo, consente anche l'uso di un combustibile non particolarmente raffinato, quale è l'uranio naturale. Reattori a grafite di questo tipo furono realizzati per i primi grossi impianti in Francia e in Gran Bretagna; successivamente furono soppiantati da reattori a uranio arricchito, e dai più avanzati AGR (Advanced Gas-cooled Reactor, Reattore avanzato raffreddato a gas).

Reattori per la propulsione navale

Oltre che per la produzione di energia elettrica, i reattori nucleari vengono utilizzati anche per la propulsione di grandi navi militari e sottomarini. In genere i sottomarini a energia nucleare sfruttano uranio molto arricchito così da permettere una sensibile riduzione delle dimensioni del reattore. Va ricordato che la tecnologia del PWR fu inizialmente sviluppata proprio per il programma di ricerca di reattori navali degli Stati Uniti. Oggi Stati Uniti, Regno Unito, Russia e Francia usano questo tipo di reattore per i loro sottomarini alimentati a energia nucleare.

In passato sono state realizzate e sperimentate alcune navi da carico propulse a energia nucleare. Nonostante il successo ottenuto dal punto di vista tecnico, il progetto di un impiego su larga scala di questo tipo di navi è fallito a causa delle rigide regolamentazioni portuali e di motivi di carattere economico. All'ex Unione Sovietica spetta il merito di aver realizzato la prima rompighiaccio a energia nucleare, la *Lenin*, impiegata per liberare i canali del mare Artico.

Reattori per la ricerca

Numerosi piccoli reattori nucleari sono in funzione nel mondo a scopo di ricerca, soprattutto per la produzione di radiazione ionizzante o isotopi radioattivi. Operano generalmente a livelli di potenza intorno a 1 MW e, date le dimensioni limitate, possono essere messi in funzione e spenti più facilmente dei grossi reattori per la produzione di energia. Uno dei più usati in questo settore è il reattore a piscina. Il nocciolo è costituito da uranio parzialmente o totalmente arricchito, contenuto in piastre di lega di alluminio immerse in una grande vasca d'acqua; questa svolge la doppia funzione di moderatore e

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

di refrigerante. I materiali da irradiare con neutroni possono essere collocati all'interno del nocciolo o molto vicino a esso. Dal nocciolo possono anche venire estratti i neutroni, attraverso linee di trasporto, ed essere utilizzati in esperimenti di fisica.

REATTORI AUTOFERTILIZZANTI

Come si è visto, la reazione di fissione vera e propria è accompagnata da altri processi che coinvolgono il combustibile, i prodotti di reazione e le strutture di contenimento del nocciolo. Tra questi processi, vi è la cattura di neutroni da parte dell'uranio 238, che non porta a una fissione, ma alla produzione di un nucleo di plutonio 239, anch'esso un materiale fissile utilizzato come combustibile nucleare. Alcuni reattori, detti autofertilizzanti, sono costruiti in modo da produrre una quantità di combustibile addirittura superiore a quella consumata; se la quantità di materiale fissile prodotto è inferiore a quella del combustibile consumato, il reattore si dice invece convertitore.

L'autofertilizzazione con produzione di plutonio 239 è possibile in reattori veloci, vale a dire negli impianti in cui i neutroni non vengono rallentati, ma urtano contro i nuclei di uranio alla stessa velocità a cui vengono emessi. È infatti alle alte energie che si ha la massima probabilità di cattura dei neutroni da parte dei nuclei di uranio 238. I reattori autofertilizzanti, quindi, non comprendono alcun tipo di moderatore. La sequenza di reazioni nucleari che porta alla formazione di un nucleo di plutonio a partire da un nucleo di uranio 238 è

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} \qquad (3)$$

Nel decadimento beta un neutrone decade in un protone, un elettrone e un antineutrino elettronico. La fissione di un nucleo di plutonio 239, innescata da un neutrone, avviene con emissione di una media di 2,8 neutroni, uno dei quali è necessario per indurre la fissione nello stadio successivo della reazione a catena. Circa 0,5 neutroni (in media) vengono persi perché assorbiti dalle strutture del reattore o dal refrigerante, e i restanti 1,3 neutroni possono essere assorbiti dall'uranio 238 per la produzione di altro plutonio 239, secondo la reazione (3).

In altri reattori, un analogo ciclo di reazioni, attivato però da neutroni lenti anziché veloci, trasforma il torio 232 in uranio 233, anch'esso utilizzabile come combustibile. Sia il

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

plutonio 239 che l'uranio 233 possono essere estratti dalle barre di combustibile sfruttato con procedimenti chimici relativamente semplici, e destinati ad alimentare altri reattori.

Reattori autofertilizzanti a metallo liquido

Il reattore che sfrutta il sistema autofertilizzante più avanzato è quello a metallo liquido (LMFBR, *Liquid Metal Fast Breeder Reactor*). In questo caso, il combustibile è uranio altamente arricchito (al 15% circa), il moderatore è assente: per rendere massima l'efficienza del sistema, infatti, la velocità dei neutroni deve essere mantenuta alta, pari circa alla velocità a cui vengono prodotti nella reazione. Il nocciolo di combustibile è circondato da uranio spento da fertilizzare (già sfruttato in altri reattori). Come refrigerante viene usato un metallo liquido, di preferenza il sodio, per le sue ottime proprietà di trasferimento di calore e per l'alto punto di ebollizione.

Tutto l'apparato centrale contenente il nucleo del reattore misura circa 3 m di altezza e 5 m di diametro ed è sospeso in un grosso contenitore di sodio liquido che, grazie a un sistema di pompe e scambiatori di calore, mantiene il reattore a una temperatura di circa 500 °C. Il vapore viene prodotto in un altro circuito di sodio, separato dal circuito di raffreddamento radioattivo del reattore dal sistema intermedio di scambiatori di calore del contenitore. Tutto il sistema è contenuto in una grande struttura di calcestruzzo e acciaio. Il tempo di raddoppiamento di questo tipo di reattore, cioè il tempo in cui il reattore produce una quantità di combustibile doppia rispetto a quella originaria, è di circa 10 anni.

Lo sviluppo del sistema LMFBR è iniziato negli Stati Uniti prima del 1950, con la costruzione del primo reattore autofertilizzante sperimentale, EBR-1. Sono stati poi installati reattori autofertilizzanti operativi in Gran Bretagna, Francia, Russia e altri paesi dell'ex Unione Sovietica; procede inoltre il lavoro a scopo sperimentale in Giappone e in Germania.

Il primo importante impianto di questo tipo per la generazione di elettricità, chiamato Super-Phénix, è entrato in funzione in Francia nel 1984 e vanta una potenza di 1200 MW. Sulle coste del Mar Caspio è stato costruito un impianto di medie dimensioni, il BN-600, per la produzione di energia e la desalinizzazione dell'acqua.

Estrazione e trattamenti preliminari

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

L'uranio naturale dei reattori ad acqua leggera, che contiene circa lo 0,7% di uranio 235, viene estratto da giacimenti superficiali o sotterranei. Il minerale viene concentrato per macinazione e poi trasportato in un impianto di conversione, dove viene trasformato in esafluoruro di uranio gassoso (UF_6). Nell'impianto di arricchimento isotopico, questo gas viene spinto contro una barriera porosa che funge da setaccio: l'uranio 235, più leggero, vi penetra più facilmente dell'uranio 238. Il prodotto arricchito viene quindi mandato a un impianto di fabbricazione del combustibile, dove il gas di UF_6 viene trasformato prima in polvere di ossido di uranio e poi nelle pastiglie di cui sono composte le barre di combustibile. Queste ultime vengono raggruppate in elementi di combustibile e trasportate al reattore, pronte per essere utilizzate.

Riprocessamento

Un tipico reattore PWR da 1000 MW usa circa 200 elementi di combustibile, un terzo del quale ogni anno deve essere sostituito con materiale nuovo, a causa dell'impoverimento in uranio 235 e dell'accumulo di prodotti di fissione che assorbono neutroni. Il combustibile usato viene conservato in un contenitore metallico pressurizzato per circa un mese e quindi immerso per almeno un anno all'interno di vasche di raffreddamento nelle vicinanze del reattore.

Al termine del periodo di raffreddamento, il combustibile usato viene trasportato, all'interno di barili pesantemente schermati, in depositi permanenti o in impianti di riprocessamento chimico: in questi ultimi l'uranio e il plutonio vengono separati dal resto delle scorie radioattive e in parte recuperati per la produzione di nuovo combustibile.

Una struttura britannica chiamata THORP (*Thermal Oxide Reprocessing Plant*) opera a Sellafield e riprocessa combustibili usati provenienti da impianti nazionali ed esteri. In alcuni paesi, ad esempio negli Stati Uniti, non è consentito il riprocessamento del combustibile, per impedire che il plutonio 239 possa venire utilizzato illegalmente per la fabbricazione di armi nucleari. Nel ciclo del combustibile dell'LMFBR, il plutonio prodotto nel reattore viene sistematicamente riciclato. Per alimentare gli impianti di fabbricazione del combustibile si usano uranio 238 riciclato, uranio impoverito dalla separazione isotopica, e parte del plutonio 239 recuperato dalle barre usate. Il processo di recupero e riciclaggio fornisce quantitativi sufficienti di combustibile senza che siano necessarie ulteriori attività di estrazione: le riserve di materiale estratto esistente potrebbero alimentare questo tipo di reattore per secoli. Poichè il reattore autofertilizzante produce più

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

plutonio 239 di quanto non sia necessario alla sua successiva alimentazione, il plutonio recuperato viene depositato per un uso successivo, con nuovi reattori.

IMMAGAZZINAMENTO DEL COMBUSTIBILE ESAURITO

Lo stadio finale di qualsiasi tipo di trattamento del combustibile nucleare è l'immagazzinamento a lungo termine delle scorie altamente radioattive, che rimangono pericolose per migliaia di anni. Gli elementi combustibili possono essere immagazzinati in depositi adeguatamente schermati e sorvegliati, in attesa di diverse collocazioni, oppure possono essere convertiti in composti stabili, inglobati in vetri o ceramiche, incapsulati in contenitori di acciaio inossidabile, e infine seppelliti sottoterra a profondità opportune, in formazioni geologiche stabili. *Vedi anche* Energia nucleare.

SISTEMI DI SICUREZZA

Gli impianti nucleari sono provvisti di diverse strutture di sicurezza, atte a controllare le possibili fughe radioattive e a ridurre il rischio e l'effetto di eventuali incidenti o malfunzionamenti del reattore. Nella maggior parte dei casi, un sistema di schermatura impedisce che i prodotti di fissione si liberino nella biosfera: il combustibile è rivestito di materiale anticorrosivo; le pareti del sistema di raffreddamento primario del PWR sono realizzate in acciaio per formare una seconda barriera; l'acqua refrigerante stessa assorbe alcuni degli isotopi radioattivi biologicamente pericolosi, come lo iodio; infine la struttura esterna è costruita in acciaio e calcestruzzo per fornire un'ulteriore barriera.

Durante il normale funzionamento di un reattore sfuggono inevitabilmente piccole quantità di sostanze radioattive, che fanno aumentare la dose annua assorbita dalla popolazione locale di qualche punto percentuale rispetto alla dose dovuta al fondo di radioattività naturale. Ben più preoccupante è il rilascio improvviso di sostanze radioattive in caso di incidenti; il maggior pericolo è costituito da una perdita nel sistema di refrigerazione, poiché in questo caso la temperatura può raggiungere addirittura il punto di fusione del combustibile.

In ogni reattore è prevista una complessa e sofisticata strumentazione di controllo, che sorveglia il buon funzionamento del reattore stesso e dei sistemi di sicurezza. Nei PWR, in caso di emergenza, uno di questi sistemi effettua l'istantanea immissione di boro all'interno del refrigerante; il boro serve ad assorbire i neutroni, interrompendo la reazione a catena e spegnendo il reattore. Per i reattori ad acqua leggera, in cui il refrigerante è tenuto ad alta

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

pressione, una rottura del condotto principale causerebbe la perdita totale del refrigerante. Questi reattori sono quindi dotati di un sistema di raffreddamento di emergenza, che entra in funzione automaticamente quando si abbassa la pressione all'interno del circuito primario. Nell'eventualità di una perdita di vapore all'interno della struttura di contenimento, intervengono automaticamente refrigeranti spray che condensano il vapore evitando che la pressione all'interno dell'edificio aumenti fino a livelli di pericolo.

INCIDENTI NUCLEARI STORICI

Nonostante tutti i sistemi di sicurezza sopra descritti fossero operanti, nel 1979 si verificò un incidente nel reattore PWR di Three Miles Island, vicino a Harrisburg, in Pennsylvania, causato da un errore di manutenzione e da una valvola di controllo difettosa. Il reattore comunque si spense automaticamente poco dopo l'inizio della perdita del liquido di raffreddamento, e il sistema di raffreddamento di emergenza entrò in funzione con efficienza. La quantità di gas radioattivi fuoriusciti fu dunque contenuta, ma il danno economico e l'impatto psicologico sull'opinione pubblica furono enormi.

In seguito all'incidente, negli Stati Uniti fu istituita una Commissione per la regolamentazione nucleare, al fine di garantire l'adozione di regole più restrittive per la costruzione di nuovi impianti e di aiutare i governi locali a preparare piani di emergenza per la protezione della popolazione.

Il 26 aprile 1986 si verificò un altro grave incidente. Uno dei quattro reattori nucleari della centrale di Černobyl, nell'allora Unione Sovietica, esplose e si incendiò. Secondo il rapporto ufficiale emesso l'agosto seguente, l'incidente fu causato da un esperimento non autorizzato sul reattore, effettuato dagli operatori addetti. Venne perso il controllo del reattore e si verificarono due esplosioni; il tetto del reattore saltò via e il nucleo si incendiò, bruciando a temperature estremamente alte (intorno a 1500 °C). La popolazione residente nella zona fu sottoposta a una quantità di radiazioni 50 volte superiore a quella dell'incidente di Three Mile Island e una nube di materiale radioattivo mise in allarme molte regioni. I residui radioattivi, gas e particelle, si sparsero sulla Scandinavia e sul Nord Europa. A differenza di tutti gli impianti in funzione nei paesi occidentali, quello di Černobyl non aveva un edificio di contenimento, che avrebbe potuto evitare la diffusione del materiale radioattivo al di fuori della zona del reattore. Vennero fatte evacuare circa 135.000 persone dalla regione circostante: 33 persone morirono nell'incidente. I resti dell'impianto furono incapsulati in una struttura di calcestruzzo. A partire dal 1988 gli altri

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

tre reattori dell'impianto furono rimessi in funzione, per essere poi definitivamente spenti il 12 dicembre del 2000.

In Italia, in seguito al referendum del 1987, è stata interrotta la costruzione di nuovi reattori e sono stati disattivati i reattori già funzionanti. Al contrario, in Gran Bretagna, Francia, Germania e Giappone la quantità di energia elettrica di origine nucleare è in aumento.

DECOMMISSIONING

Dopo circa 25 anni di attività i reattori devono essere smantellati: la continua esposizione all'irraggiamento nucleare, infatti, danneggia le strutture dell'impianto rendendole a loro volta altamente radioattive. Il complesso delle operazioni di decontaminazione e smantellamento che concludono il periodo di attività di un reattore prende il nome di *decommissioning*. Le procedure possono variare a seconda dei livelli di radioattività e delle altre variabili che caratterizzano i singoli casi; in primo luogo si procede alla rimozione del combustibile esaurito, destinato a un impianto di riprocessamento o di smaltimento delle scorie, e delle strutture contaminate mobili; poi si passa alla rimozione degli edifici veri e propri, via via che i livelli di radioattività si abbassano. L'intera operazione può durare anche alcuni decenni. Un'altra possibilità è l'intombamento, vale a dire la copertura dell'intero impianto in una struttura di cemento.

Si stima che entro il 2010 dovrebbero essere smantellati circa 300 reattori nucleari nel mondo.

Le armi nucleari: come si fanno

La costruzione di una bomba atomica si svolge sostanzialmente in due passaggi. Per prima cosa bisogna procurarsi il materiale fissile, che deve essere plutonio sufficientemente puro o uranio altamente arricchito. Ottenuto il materiale bisogna assemblare un ordigno in grado di esplodere.

Dei due passaggi il primo è sicuramente il più complicato, e costituisce il vero sbarramento alla proliferazione nucleare.

Per ottenere del materiale fissile in una quantità sufficiente si può procedere in due modi: o si costruiscono degli impianti di arricchimento dell'uranio, o si costruiscono dei reattori nucleari simili a quelli usati nelle centrali nucleari ad uso civile, e si ritratta chimicamente il combustibile nucleare usato nel reattore estraendone il plutonio.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

L'arricchimento dell'uranio è un processo che separa due diversi isotopi dell'uranio che si trovano nell'uranio naturale.
L'uranio naturale, (per capirci, quello che viene estratto dalla miniera e purificato), contiene il 99,3% di uranio 238, ovvero uranio il cui nucleo è formato da 92 protoni e 146 neutroni, e lo 0,7% di uranio 235, il cui nucleo ha tre neutroni in meno.
I due isotopi dell'uranio hanno comportamento chimico identico e massa solo lievemente diversa, ma hanno un comportamento totalmente diverso quando vengono irraggiati da neutroni.

Quando un nucleo di uranio 235 viene colpito da un neutrone, infatti, ha circa il 90% di probabilità di dividersi in due, emettendo un'energia di 200 milioni di volte superiore a quella di una tipica reazione chimica. Questo processo è definito processo di fissione.

Se un nucleo di uranio 238 viene colpito da un neutrone, invece, lo assorbe, e si trasforma dopo un po' in plutonio 239, che, come l'uranio 235, fa fissione.

Il processo di arricchimento dell'uranio è un processo che, partendo da uranio naturale, genera uranio con una percentuale maggiore di 235, in modo da agevolare il processo di fissione. Di solito, per usi civili, (e cioè nelle centrali nucleari per produrre energia elettrica) si usa uranio naturale, o, più spesso, uranio arricchito al 2-3 %, mentre per costruire una bomba atomica serve uranio 235 arricchito oltre l'80%, e di solito si cerca di arrivare al 90%.

I processi che si usano per l'arricchimento sono principalmente cinque.

La Diffusione Gassosa: Si pompa uranio attraverso dei setti porosi sotto forma di Esafluoro di Uranio, (UF6) un gas chimicamente aggressivo e molto tossico. La maggior parte dell'uranio arricchito per usi civili viene ottenuto così. Il problema è che l'arricchimento per ogni stadio è molto basso, e che questi impianti consumano quantità enormi di energia elettrica per pompare il gas. A titolo di esempio di può citare Eurodif, in Francia, che, per arricchire l'uranio utilizzato per quasi tutte le centrali europee, richiede l'energia di quattro centrali nucleari (circa 4Gw, circa il consumo di tutta la provincia di Milano).

Sono impianti che, anche se non necessariamente di queste dimensioni, sono molto costosi, anche se non estremamente complessi. Richiedono un grosso potenziale economico e industriale.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

La Centrifugazione: Invece di pompare l'esafluoro di uranio lo si fa girare a decine di migliaia di giri al minuto all'interno di centrifughe: il gas che si trova più vicino al centro della centrifuga è più ricco di Uranio 235, che è più leggero. L'arricchimento di ogni stadio è abbastanza alto (ogni centrifuga aumenta la percentuale di 235 di quasi il 40%, contro meno dell'1% della diffusione gassosa).
Le prime centrifughe consumavano molta energia elettrica, ma quelle di ultima generazione consumano poco e funzionano ottimamente. Quelle di prima generazione non sono particolarmente complicate da fabbricare, mentre quelle moderne richiedono tecnologie non facilmetne accessibili e secretate.
E' il metodo più facile e redditizio per avere un buon potenziale di fabbricazione per costruire un arsenale nucleare, e si sa che molti stati hanno costruito impianti di questo tipo (Pakistan, Israele) , o stanno cercando di costruirli (Iraq).

La Separazione aerodinamica, è concettualmente simile alla centrifugazione, solo che il gas viene iniettato ad alta pressione in un condotto a spirale. Richiede più energia della centrifugazione, ma è più semplice. È stato utilizzato dal Sud Africa per costruire un piccolo arsenale nucleare oggi smantellato.

La Separazione Elettromagnetica (calutrone) è la tecnologia con cui gli Usa hanno costruito la prima bomba all'uranio (quella di Hiroshima): si accelerano delle particelle cariche con un piccolo acceleratore, e le si spara contro gli atomi di uranio, ionizzandoli (strappando cioè loro uno o più elettroni). A questo punto gli atomi, carichi elettricamente, possono essere separati, visto che hanno la stessa carica ma massa differente. In questo modo si separano delle piccole quantità di uranio molto puro, adatto a costruire armi nucleari. Richiede dei buoni magneti e una ingente quantità di energia elettrica.

Visto che si trattava di una tecnologia molto vecchia, i particolari costruttivi non erano stati posti sotto segreto, ma batterie di calutroni possono dare abbastanza materiale da costruire qualche bomba all'anno.

L'Iraq aveva costruito, (con l'aiuto francese e acquistando magneti al Cern di Ginevra) batterie di calutroni, e li aveva posti sotto il reattore Osiraq, fino alla distruzione del reattore avvenuta con un raid aereo israeliano nel 1981.

La Ionizzazione selettiva laser, (AVLIS) consiste nel far ionizzare da un laser a una determinata frequenza (definita con molta precisione) solo gli atomi dell'isotopo desiderato, che possono essere poi separati.

Richiede tecnologie molto sofisticate, che sono alla portata di pochi stati. Sembra che l'Iran ne abbia costruito (o ne stia costruendo uno) su progetto russo.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Un altro modo per ottenere materiale fissile utilizzabile nella costruzione di armi nucleari è quello di **estrarre plutonio** da barre di combustibile nucleare già stato in reattore.
Il Plutonio non esiste in natura, ma si ottiene dall'uranio 238 quando assorbe un neutrone. Il nocciolo di un reattore è generalmente costituito da decine di tonnellate di uranio, e quest'uranio è spesso uranio 238 al 97% e uranio 235 al 3%. Ci si trova quindi con una grande quantità di materiale che si trova esposta al notevole flusso di neutroni che si ha all'interno del nocciolo di un reattore, e tutto questo materiale, assorbendo neutroni, genera plutonio.
In generale, su una tonnellata di uranio messa in reattore, all'inizio si hanno 970 chili di 238 e 30 di 235. quando il combustibile nucleare esaurito viene estratto dal reattore si hanno, di solito, alcuni chili di 235 e alcuni chili di plutonio.
Dal ritrattamento chimico del combustibile esaurito, quindi, si possono ottenere notevoli quantità di plutonio.

Il ritrattamento, oltretutto, è un processo industriale che molti paesi usano per recuperare il plutonio e l'uranio 235 dal combustibile esaurito e per fabbricare un nuovo combustile, detto Mox (mixed Oxide Fuel). E, nel momento in cui si maneggia plutonio, usarlo per usi civili o militari è questione solo di buona volontà, tanto è vero che quasi tutti gli impianti di ritrattamento (a parte quelli nordcoreani, quelli pakistani, indiani ed israeliani) sono sotto il controllo degli ispettori della Iaea, e non è un mistero il fatto che gli Usa tentino di non far diffondere troppo questa tecnologia, in realtà alla portata di qualsiasi paese che, avendo un buon potenziale industriale, abbia un po' di soldi da investirci.

L'unico problema è che il plutonio 239 estratto da molti tipi di reattori sia inquinato da plutonio 240, un isotopo che ha proprietà che mal si conciliano con l'utilizzo militare.

Tendenzialmente si estrae un buon plutonio quando si tiene per poco tempo dell'uranio naturale in reattori moderati ad acqua pesante o a grafite, un plutonio peggiore se si parte da uranio arricchito tenuto molto in reattori moderati ad acqua leggera (I Pwr o i Bwr, cioè la stragrande maggioranza dei reattori per usi civili). Non è un caso che il plutonio la prima bomba americana fosse stato generato da un reattore costituito da grafite e uranio naturale costruito da Fermi, non è un caso che gli Indiani usino reattori ad acqua pesante, e non è un caso il fatto che gli Usa abbiano aiutato la Cora del Nord a costruire dei reattori ad acqua leggera, chiedendo però di chiudere i reattori a grafite e di mettere sotto controllo Iaea gli impianti di ritrattamento.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Una volta ottenuto il materiale fissile, **costruire la bomba** è relativamente semplice.
Contrariamente a quanto di solito si pensi, la costruzione di una bomba non è una cosa elementare.
Il problema è che le reazioni nucleari devono avvenire molto velocemente, e cioè devono finire prima che il calore generato distrugga meccanicamente il nucleo esplodente.
Di conseguenza l'innesco deve avvenire molto velocemente, e devono avvenire più reazioni possibili nel minor tempo possibile.
Negli anni '60 il ministro della difesa americano commissionò a tre fisici neolaureati il progetto di una bomba, e risultò che tre fisici, senza particolari conoscenze, avendo a disposizione solo la letteratura di pubblico dominio,furono in grado di produrre in due anni un progetto funzionante.
Al giorno d'oggi, le informazioni disponibili sono molto maggiori, e con un normale Pc si possono fare delle simulazioni impensabili negli anni '60. Quindi assemblare una bomba funzionante (avendo il materiale) non è semplice per l'uomo della strada (non basta mettere insieme il materiale: lo si farebbe fondere e basta), ma è alla portata di qualsiasi stato o di qualsiasi gruppo terroristico ben organizzato.

La bomba assemblata sarebbe una bomba rudimentale, come quella di Hiroshima, avrebbe grosse dimensioni (non utilizzabile, per esempio, su un missile), e potenziale non superiore a qualche Kiloton ma sarebbe comunque più che sufficiente a radere al suolo una città di qualche decina di migliaia di abitanti.

Con studi più accurati, con simulazioni numeriche e con qualche esperimento non nucleare si possono produrre design migliori, a innalzare l'energia dell'esplosione e a ridurre le dimensioni.

Per bombe a fusione, (Fino a 50 Megaton) o per design particolari e più efficienti, (come, ad esempio, le armi tattiche che stanno in un proiettile d'artiglieria) servono dei test. Gli israeliani, per esempio, hanno prodotto armi tattiche di dimensioni molto ridotte facendo solo un test (o probabilmente due, di cui forse uno segreto in collaborazione col Sudafrica).

Enrico Barsanti

LE RADIAZIONI IONIZZANTI

CHE COSA SONO

La vita è come una strada irta di ostacoli che non possiamo fare a meno di percorrere. Molti vanno alla cieca seguendo le indicazioni di qualcuno, solo pochi guardano gli ostacoli con i propri occhi.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

PREMESSA

Le pubblicazioni, oggi in commercio, riguardanti la protezione contro le radiazioni nucleari sono strettamente specifiche e rivolte solo al personale addetto agli impianti dove esse si generano o dove si fa uso di materiale radioattivo.

Non esistono, invece, pubblicazioni rivolte ai cittadini e alle popolazioni, anche se gli incidenti, le cui conseguenze riguardano tutti, come una fuga di materiali radioattivi da una centrale termonucleare, siano stati frequenti in passato e siano tutt'altro che improbabili in futuro. Nonostante siano trascorsi più di dieci anni dal grave incidente nella centrale atomica di Cernobyl, la cui "nube radioattiva" ha per molti giorni sconvolto mezzo mondo, e nonostante che in quella occasione gli organi competenti per l'informazione abbiano dato prova di grande inaffidabilità e abbiano contribuito a confondere le idee, con comunicati spesso incomprensibili e contraddittori, ancora oggi non esiste una letteratura divulgativa che insegni come si rilevino e si misurino le radiazioni, che informi su come valutare di volta in volta i casi di pericolo e che dia indicazioni sui comportamenti da adottare. Apposite pubblicazioni divulgative non solo dovrebbero addirittura essere studiate obbligatoriamente, e con anticipo, dagli operatori delle pubbliche amministrazioni e dai giornalisti, ma anche essere alla portata di tutti. Se si dovesse compiere oggi un'indagine sulla conoscenza di questo settore da parte di funzionari pubblici, Protezione Civile, giornalisti, operatori sanitari, ecc., ci accorgeremmo della pressoché totale ignoranza in materia da parte di tutti.

Durante l'emergenza per il disastro di Cernobyl, le radiazioni non hanno colpito in egual modo tutte le zone. Forse singoli cittadini hanno buttato via del buon latte non radioattivo e altri invece hanno bevuto acqua contaminata; forse intere popolazioni di una certa zona hanno fatto altrettanto. Chissà quanti, a causa degli avvertimenti generici dei mezzi d'informazione, non si sono cibati di buona verdura e chissà quanti sono andati ad acquistare acqua imbottigliata proveniente da zone lontane (e magari ancor più contaminata)! Passata l'emergenza, chissà quanti prodotti contaminati, sul momento vietati, potrebbero essere ritornati sulle nostre tavole in tempi non sospetti, quando i controlli sanitari si erano allentati! Inoltre, chissà quante volte ci sono state fughe di radioattività e le popolazioni non se ne sono accorte, perché nessuno le ha avvertite! Fatti del genere sono davvero successi, perché l'ignoranza è tanta e gli interessi in gioco ancora di più. Per questo non possiamo fidarci di nessuno, né degli esagitati che annunciano catastrofi, né dei melensi di stato che dicono che tutto è sotto controllo. **Occorre fare da soli**.

Chi avrà la pazienza di leggere questo scritto, e gli altri sullo stesso argomento che sono nel sito, potrà sapere:

1. Come scoprire, quando le fonti di informazione ufficiali tacciono, se ci siano state fughe di sostanze radiattive che interessano la zona dove viviamo.
2. Come accertarsi, in caso di informazioni ufficiali, della presenza nella nostra zona di radiazioni oltre i valori normali. Infatti, se ci sono state fughe di radioattività, i venti e le piogge non portano le sostanze radioattive in tutte le zone e in egual misura. Gli organi d'informazione ufficiali, anche se facessero del loro meglio per comunicare i dati, non potrebbero avere dati attendibili per ogni comune e si limiterebbero a diffondere valori medi nazionali o di ampie zone geografiche.
3. Come misurare le radiazioni emesse dalle cose che sono intorno a noi e, soprattutto, dall'aria che respiriamo e dai cibi che compriamo e ingeriamo. In caso di contaminazioni, dovremo fare comunque grandi sacrifici nelle nostre abitudini alimentari e cercare allora, non solo di non ingerire cibi contaminati, ma anche di non buttar via quelli buoni.
4. Come valutare le misurazioni fatte e come comportarsi dopo gli accertamenti. Se sappiamo misurare le radiazioni, possiamo evitare le sorgenti e anche valutare le dosi che possiamo

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

assorbire senza correre troppi rischi. Possiamo dare delle risposte immediate e mirate in modo semplice e non ossessivo. Può essere necessario e sufficiente, rientrando in casa, togliersi le scarpe, ma anche lavarsi i capelli o fare una doccia o lavare i vestiti. In casa può essere necessario tenere porte e finestre chiuse, lavare i pavimenti e aspirare la polvere, per poi portare in appositi scarichi i sacchetti e i filtri dell'aspirapolvere. Le misure di radioattività possono dirci quali di queste cose dobbiamo effettivamente fare ed evitare così che si facciano spasmodicamente tutte insieme ogni volta, per poi finire dopo qualche giorno, psicologicamente esauriti, col non farne nessuna.

5. Come difendere non solo noi stessi, ma anche i nostri cari, i nostri amici, i nostri animali.

Ma è possibile fare da noi, in casa nostra e nel nostro giardino, misure esatte delle radiazioni? È possibile stabilire da noi, con assoluta certezza, che il cibo che stiamo per mangiare o per bere non sia contaminato?

La risposta è "Sì". Basta acquistare, o costruirsi, un economico strumento e seguire le facili e semplici indicazioni fornite in questi scritti. Ciò che sembra un compito arduo e risolvibile soltanto da personale specializzato, con il contributo di costose e avanzate tecnologie di laboratorio, è invece semplicissimo e alla portata di chiunque. Allora, cerchiamo di fare da soli; ciò potrebbe salvarci la vita.

COSA SONO LE RADIAZIONI IONIZZANTI

Le radiazioni ionizzanti sono delle particelle e delle onde elettromagnetiche dotate di potere altamente penetrante nella materia. Ciò permette alle radiazioni di far saltare da un atomo all'altro gli elettroni che incontrano nel loro percorso. In tal modo gli atomi, urtati dalle radiazioni, perdono la loro neutralità (che consiste nell'avere un uguale numero di protoni e di elettroni) e si caricano elettricamente, ionizzandosi.

La ionizzazione può causare negli organismi viventi fenomeni chimici che portano a lesioni osservabili sia a livello cellulare che dell'organismo, con conseguenti alterazioni funzionali e morfologiche, fino alla morte delle cellule o alla loro radicale trasformazione. Si parla di danni somatici quando le radiazioni danneggiano le strutture cellulari ed extracellulari e di danni genetici quando provocano alterazioni nella costituzione dei geni. Per questo le radiazioni ionizzanti sono molto nocive.

Nozioni da rinfrescare:

- Gli atomi che compongono la materia sono costituiti da un nucleo centrale, formato da protoni e neutroni, e da elettroni che si muovono intorno al nucleo. Protoni e neutroni sono tenuti insieme da una forza di coesione molto elevata, superiore a quella elettrica, mentre gli elettroni, in egual numero dei protoni, sono tenuti intorno al nucleo dalla loro carica elettrica. I protoni, infatti, sono cariche positive e gli elettroni negative, e le cariche elettriche opposte si attraggono. In condizioni normali, il numero dei protoni (positivi) e degli elettroni (negativi) si equivale, cosicché gli atomi sono stabili e non posseggono una loro carica elettrica complessiva.
- **Peso atomico** = neutroni + protoni (si scrive in alto a sinistra del simbolo dell'atomo, esempio: ^{4}He).
- **Numero atomico** = numero elettroni (si scrive in basso a sinistra, esempio: $_{2}$He).
- **Isotopi** = elementi che hanno diverso peso atomico, ma uguale numero atomico. La

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

diversità di massa è data dal diverso numero di neutroni.
- **Ioni** = atomi, o gruppi di atomi, che presentano una carica elettrica positiva o negativa.

ORIGINI DELLE RADIAZIONI

Le radiazioni ionizzanti sono prodotte:

1. da nuclidi radioattivi,
2. da particelle provenienti dal cosmo (raggi cosmici),
3. da speciali apparecchiature elettroniche (raggi X).

I raggi cosmici sono sempre naturali, invece le sostanze radioattive possono essere naturali o artificiali. I comuni raggi X che tutti conoscono, per l'uso che ne viene fatto nella diagnostica medica, sono artificiali, ma possono trovarsi anche in natura.

Una particolare sorgente di radiazioni ionizzanti è quella che deriva da un'esplosione nucleare.

NUCLIDI RADIOATTIVI

I nuclei atomici con numero di neutroni in difetto o in eccesso rispetto alle condizioni di stabilità, tendono a trasformarsi in nuclei di altri elementi (con numero atomico minore) o in isotopi dei nuclei di partenza (mantenendo lo stesso numero atomico). Ciò avviene emettendo particelle (raggi alfa e beta) e radiazioni elettromagnetiche (raggi gamma), entrambe dotate di potere penetrante e ionizzante. I raggi alfa, beta e gamma sono di natura tra loro diversa. In un campo elettrico, ad esempio, i raggi alfa e beta+ deflettono verso il negativo, i beta- verso il positivo e i gamma non deflettono (i raggi beta+ si chiamano anche positroni).

Attenzione:

Non va confuso il fenomeno che è all'origine della radioattività con quello della formazione degli ioni. Gli ioni di cui si è già parlato, infatti, sono dovuti all'urto delle radiazioni ionizzanti sugli elettroni degli atomi, col risultato che è il numero degli elettroni a variare rispetto al numero dei protoni. I nuclidi radioattivi, invece, sono una delle sorgenti di radiazioni ionizzanti e la loro instabilità non è elettrica, ma nucleare, avendo diverso il numero di neutroni rispetto a quello dei protoni.

I nuclei instabili, prima di decadere a un livello energetico più basso, rimangono nel loro stato di radioattività per un periodo di tempo variabile da una frazione di secondo fino a molti milioni di anni, secondo la loro specie atomica. Il fenomeno non è in alcun modo influenzabile dall'esterno (variazioni di pressione, di temperatura, ecc.).

Le sostanze radioattive in natura sono una decina e sono costituite da nuclidi di numero atomico maggiore di 82 (piombo) e minore o uguale a 92 (uranio).
Quelle artificiali sono invece molte di più, costituite da radioelementi con numero atomico uguale o maggiore di 93 (transuranici) e da isotopi artificiali di elementi stabili (radioisotopi).

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Sostanze radioattive in natura sono ad esempio le seguenti:
Radio (Ra)
Uranio (U)
Torio (Th)
Attinio (Ac)
Polonio (Po)

Quelle artificiali sono, ad esempio, il plutonio (Pu) e i prodotti di fissione formati dal bombardamento neutronico di certi elementi pesanti in un reattore nucleare (radioelementi), nonché i radioisotopi prodotti dall'uomo.

A proposito delle radiazioni ionizzanti, bisogna notare che non esiste un nostro organo di senso in grado di percepirle. I nostri cinque sensi, attraverso i quali percepiamo il mondo esterno, non solo sono limitati nei loro rispettivi campi d'azione (ad esempio con la vista si vedono solo colori compresi tra il rosso e il violetto, con l'udito si odono suoni al massimo compresi tra 16 e 20000 Hz., ecc.), ma neppure bastano per "sentire" tutta la natura. Poiché non esiste un senso in grado di percepire le radiazioni ionizzanti, queste sono state scoperte con molto ritardo e occorre utilizzare appositi strumenti per accorgersi della loro presenza intorno a noi.

RADIAZIONI COSMICHE

I raggi cosmici sono particelle di origine extraterrestre costituite prevalentemente da nuclei di idrogeno (protoni) e di altri atomi, sia leggeri (raggi alfa) che pesanti, ma anche da elettroni, positroni, neutrini e fotoni gamma. Provengono dalla Galassia e dallo spazio esterno, con una frequenza media (negli strati alti dell'atmosfera) di circa ventimila particelle al metro quadrato ogni minuto, e hanno un'energia elevatissima. Molte di queste particelle, chiamate *raggi cosmici primari*, si scontrano poi con gli atomi dell'atmosfera terrestre, generando altre particelle (*raggi cosmici secondari*) che sono protoni, neutroni, mesoni, fotoni, ecc., formanti sciami fotoni-elettroni caratteristici, dall'eccezionale potere penetrante. Per avere un'idea di quanto questi raggi siano penetranti, basti pensare che sono stati rilevati anche ad alcuni chilometri sotto la superficie terrestre.

Al livello del mare, si ha una media di una particella di raggi cosmici al minuto su una superficie di un centimetro quadrato.

TUBO A RAGGI CATODICI

I raggi X sono emessi dai metalli colpiti da raggi catodici. Questi si producono in speciali tubi a vuoto (tubi Coolidge) con degli elettrodi di metallo. Dal catodo riscaldato si sprigionano, per effetto termoionico, degli elettroni (raggi catodici) che vanno in direzione dell'anodo, con velocità direttamente proporzionale alla tensione fornita dalla sorgente. Lo scontro dei raggi catodici con l'anodo (metallo) genera i raggi X.

ESAME DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

L'energia delle radiazioni ionizzanti è espressa in elettronvolt (eV). 1eV è l'energia acquistata da un elettrone quando attraversa una differenza di potenziale di 1V nel vuoto.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

RAGGI ALFA

- **Costituzione**: sono particelle costituite da nuclei di elio (2 neutroni e 2 protoni) e hanno doppia carica positiva.
- **Sorgente**: nuclidi radioattivi.
- **Energia**: generalmente superiore a 4 MeV.
- **Velocità**: 15-20 mila km/s.
- **Potere penetrante**: debolissimo (100 volte meno dei raggi beta), 2-8 cm di aria, non oltre 0,05 mm di alluminio, non oltre lo strato basale dell'epidermide, non oltre un foglio di carta. Una particella alfa di 3 MeV percorre nell'aria ca. 2,8 cm. Occorre un'energia molto elevata (7,5 MeV) perché possano penetrare entro la pelle.
- **Potere ionizzante**: molto elevato (mille volte maggiore dei beta). Una particella alfa di 3 MeV produce nell'aria 4000 coppie di ioni/mm.
- **Pericolosità**: le particelle alfa sono dannose solo se emesse entro il corpo umano. In tal caso possono creare gravi danni per la grande forza di ionizzazione posseduta.

RAGGI BETA

- **Costituzione**: flusso di particelle costituite da elettroni (*beta-*, negativi) e da positroni (*beta+*, elettroni positivi) emessi da un nucleo che si disintegra. Alcune particelle beta aventi alta velocità interagiscono con la materia, con emissione di raggi X (raggi X naturali).
- **Sorgente**: nuclidi radioattivi.
- **Energia**: da pochi keV a molti MeV (generalmente inferiore a 4 MeV).
- **Velocità**: 150-300 mila km/s.
- **Potere penetrante**: debole (100 volte più dei raggi alfa, ma 100 volte meno dei raggi gamma), non oltre 5 mm di alluminio, non oltre 1 cm nella pelle, non oltre 2,5 cm di legno. Una particella beta di 3 MeV percorre nell'aria ca. 100 cm.
- **Potere ionizzante**: minimo. Una particella beta di 3 MeV produce nell'aria solo 4 coppie di ioni/mm.
- **Pericolosità**: se emesse entro il corpo umano sono sempre dannose. Se emesse da una sorgente esterna sono dannose solo per gli organi, in pratica, a meno di 1 cm dalla cute.

RAGGI GAMMA

- **Costituzione**: sono onde elettromagnetiche, come la luce, e non di natura corpuscolare come i raggi alfa e beta. La loro frequenza varia da sostanza a sostanza (lunghezza d'onda compresa tra 10^{-14} e 10^{-11} metri).
- **Sorgente**: nuclidi radioattivi.
- **Energia**: da pochi keV a molti MeV (10 keV - 10 MeV). L'energia è proporzionale alla loro frequenza.
- **Velocità**: quella della luce.
- **Potere penetrante**: forte (100 volte più dei raggi beta). Qualche centimetro di piombo diminuisce l'intensità di tali raggi di un fattore 2.
- **Potere ionizzante**: producono elettroni secondari che ionizzano l'aria.
- **Pericolosità**: sono sempre pericolosi, anche se emessi da sorgenti esterne al corpo umano.

RAGGI X

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- **Costituzione**: sono radiazioni elettromagnetiche simili ai raggi gamma, ma di frequenza minore (quindi di lunghezza d'onda maggiore: 10^{-11} - 10^{-9} metri). A differenza dei raggi alfa, beta e gamma che vengono emessi da nuclei atomici radioattivi, i raggi X sono prodotti da apparecchiature elettroniche o dai raggi beta negativi che si scontrano a grande velocità con la materia.
- **Sorgente**: scontro di elettroni con la materia (tubo da raggi X).
- **Energia**: da alcuni keV a molti MeV.
- **Velocità**: quella della luce.
- **Potere penetrante**: forte.
- **Potere ionizzante**: forte.
- **Pericolosità**: elevata, ma inferiore a quella dei raggi gamma, inoltre la sorgente è sempre esterna al corpo umano e cessa le sue emissioni una volta spenta.

RAGGI COSMICI

- **Costituzione**: nuclei atomici, elettroni, positroni e raggi gamma (raggi cosmici primari) o sciami fotoni-elettroni (raggi cosmici secondari).
- **Sorgente**: extraterrestre.
- **Energia**: fino a molte migliaia di MeV (tra 10^{8} e 10^{20} eV).
- **Velocità**: elevatissima, forse anche superiore a quella della luce (sostengono alcuni).
- **Potere penetrante**: fortissimo.
- **Potere ionizzante**: fortissimo.
- **Pericolosità**: la loro scarsa presenza li rende del tutto innocui.

Anche i neutroni emessi nella disintegrazione degli atomi radioattivi e nella fissione producono indirettamente ionizzazione e causano l'emissione di radiazioni gamma di alta energia quando interagiscono con atomi di idrogeno. Poiché producono protoni ionizzanti e particelle beta quando interagiscono con la materia, possono far sì che alcuni elementi stabili diventino radioattivi.

Fine

© Copyright 1997 by Enrico Barsanti

Prima edizione su Internet: 11 settembre 1997

Enrico Barsanti

COME SI RILEVANO E SI MISURANO LE RADIAZIONI

GLI STRUMENTI E IL LORO USO

PANORAMICA DEI PRINCIPALI STRUMENTI

Esistono molti strumenti di diversa concezione e fattura che sono in grado di rilevare e misurare la radioattività. I principi di funzionamento riguardano essenzialmente gli effetti che la radioattività

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

provoca su alcune sostanze, come l'impressione di emulsioni fotografiche, l'eccitamento di sostanze luminescenti e la ionizzazione di gas, liquidi o cristalli al passaggio delle radiazioni. Gli scopi principali di questi strumenti sono:

1. tenere sotto controllo la dose accumulata da ciascun individuo;
2. rilevare e misurare i livelli di irradiazione o di contaminazione radioattiva nell'ambiente, nelle cose e negli individui;
3. tenere costantemente sotto controllo i livelli di irradiazione o di contaminazione nell'ambiente e nelle cose, con eventuale registrazione dei dati rilevati;
4. dare informazioni particolareggiate sul tipo di sorgente radioattiva.

DOSIMETRI

Sono gli strumenti adatti a tenere sotto controllo, per un'intera giornata, per settimane o per mesi, la dose accumulata dagli individui che lavorano in ambienti esposti alle radiazioni.

Dosimetri fotografici. Si tratta di rilevatori che vengono indossati come piastrine o come bracciali, per essere portati dove sono presenti sostanze radioattive o apparecchi per l'emissione di raggi X. Ad esempio ne fanno comune uso i radiologi. Essi si basano sull'impressione di un'emulsione fotografica sottoposta ad irradiazione, poiché le emulsioni fotografiche si anneriscono in modo proporzionale alla dose assorbita.

Dosimetri elettrostatici. Sono camere di ionizzazione molto piccole che vengono portate nel taschino come comuni penne stilografiche, di cui hanno la forma. Basano il loro funzionamento sugli effetti della ionizzazione di un gas (condensatori ad aria). Alcuni di questi dosimetri si leggono direttamente attraverso un indice ingrandito con un sistema di lenti; altri si leggono utilizzando un apposito strumento esterno.

CONTATORI

Sono gli strumenti adatti a rilevare e a misurare la radioattività nell'ambiente, nelle cose e nelle persone. I contatori sono sostanzialmente di due tipi: a scintillazione e a ionizzazione. Quelli a scintillazione funzionano sul principio della luminiscenza prodotta dalle radiazioni che urtano contro determinati composti minerali. Quelli a ionizzazione funzionano sul principio della maggiore conducibilità elettrica di un gas quando viene ionizzato al passaggio delle radiazioni.

CONTATORE A SCINTILLAZIONE. Si tratta di uno strumento la cui invenzione risale agli inizi del 1900 e che si basa sul principio che le particelle alfa producono scintille quando colpiscono alcuni composti minerali come, per esempio, il solfuro di zinco. A ogni scintillazione, osservabile con un microscopio (cioè un sistema di lenti all'interno del contatore stesso), corrisponde l'urto di una particella sul composto. Utilizzando altri materiali fluorescenti può rilevare anche le radiazioni beta e gamma. Il contatore a scintillazione è oggi normalmente costituito da un tubo fotomoltiplicatore che converte le scintillazioni in impulsi elettrici, facilmente amplificabili e visibili con semplici voltmetri. Questo strumento è molto sensibile e può rilevare qualsiasi tipo di radiazione. Oltre a permettere il conteggio, può misurare l'energia delle particelle. Si tratta dunque di uno strumento abbastanza completo, pratico e robusto; sicuramente molto utile anche per scopi pratici.

CONTATORE A IONIZZAZIONE. Si basa sul principio che le radiazioni ionizzanti provocano una maggiore conducibilità elettrica nei gas da loro attraversati. È composto da un cilindro

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

conduttore al cui interno vi è un gas e un elettrodo isolato dal resto dell'involucro. Tra il cilindro e l'elettrodo è applicata una differenza di potenziale. Quando una radiazione ionizzante attraversa il cilindro, il gas si ionizza e gli ioni che si generano, col conseguente rilascio di elettroni, procurano il passaggio della corrente elettrica nel gas, alterando la differenza di potenziale esistente, che diviene rilevabile con un voltmetro o con un sistema acustico o visivo. A seconda della differenza di potenziale applicata tra il cilindro e l'elettrodo si ha un diverso tipo di comportamento degli elettroni che si liberano al passaggio delle radiazioni ionizzanti e quindi un diverso modo di rilevamento della differenza di potenziale applicata. Se la differenza di potenziale applicata è dell'ordine di poche decine di Volt, si ha la cosiddetta camera a ionizzazione, se è dell'ordine di qualche centinaia di Volt si ha il contatore proporzionale, se è dell'ordine di circa 1000 Volt si ha il contatore geiger. I tre tipi di contatori a ionizzazione hanno funzionamenti e usi differenti.

Contatore a camera di ionizzazione. Questo tipo di contatore permette, attraverso discriminatori a un canale o multicanali, di distinguere i diversi tipi di radiazioni in base alla maggiore o minore ionizzazione che esse provocano, e quindi in base alla maggiore o minore altezza dell'impulso elettrico che si rileva con il suo strumento di lettura. Quest'altezza è proporzionale all'energia della radiazione. In base alla forma e alla disposizione degli elettrodi si hanno due tipi principali di camera a ionizzazione: a piatti paralleli e a elettrodi cilindrici coassiali. Nelle camere per particelle alfa, la sorgente radioattiva va posta all'interno del rilevatore, per la poca penetrabilità delle particelle alfa, mentre in quelle per particelle beta o raggi gamma la sorgente è esterna.

Contatore proporzionale. In questo contatore, per la maggiore differenza di potenziale utilizzata rispetto alla camera di ionizzazione, gli elettroni prodotti per ionizzazione, quando giungono nei pressi del catodo, si ionizzano a loro volta, moltiplicandosi. Poiché il segnale elettrico che si ottiene è proporzionale alla ionizzazione prodotta dalla radiazione, l'uso di questo contatore permette, oltre al conteggio delle radiazioni, anche la loro distinzione e la determinazione dell'energia delle radiazioni non bene individuabili con la camera a ionizzazione; in particolare è un ottimo analizzatore di particelle beta.

Contatore Geiger (o Geiger-Müller, del 1928). In questo strumento la differenza di potenziale applicata agli elettrodi è piuttosto elevata (generalmente oltre gli 800 volt), comunque superiore a quella utilizzata per il contatore proporzionale, del quale peraltro mantiene lo schema costruttivo. Per la maggiore tensione utilizzata, la caratteristica di questo strumento è che l'impulso elettrico rilevato al passaggio di una radiazione ionizzante è indipendente dalla ionizzazione prodotta. Ciò impedisce di distinguere direttamente il tipo di radiazione e di misurarne l'energia. Per questa sua caratteristica è però il più utile nel conteggio di particelle beta e raggi gamma, anche perché non presenta problemi di schermatura e isolamento come per gli altri contatori a ionizzazione. Ovviamente anche questo strumento potrebbe rilevare e contare le particelle alfa, ma necessiterebbe in tal caso di un tubo con pareti, ad esempio di vetro, molto sottili, in modo da permettere alle particelle di arrivarvi all'interno; condizione questa che mal si addice con la pressione del gas utilizzato, che è inferiore a quella atmosferica di ca. dieci volte.

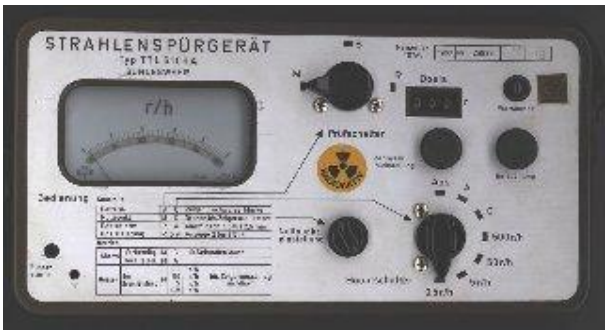
I contatori possono presentarsi sotto diverse tipologie costruttive a seconda della loro utilizzazione.
In particolare meritano di essere menzionati i seguenti:

Monitori mani-piedi. Sono apparecchi che contengono in un unico strumento diversi rilevatori in modo da esaminare in un'unica volta l'intero corpo di una persona. È sufficiente montare su una pedana e appoggiare entrambe le mani su degli appositi ripiani. In pochi secondi lo strumento darà i valori particolareggiati delle varie parti del corpo. Il principio di funzionamento dei vari rilevatori utilizzati è quello dei contatori geiger, dei contatori proporzionali e dei contatori a scintillazione.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Strumenti per la sorveglianza degli ambienti. Sono apparecchi, fissi o portatili, il cui scopo è di monitorare in continuazione l'aria e le cose dell'ambiente nel quale sono collocati, misurando il livello di radioattività ed eventualmente avvisando se il livello supera una soglia prestabilita. Il principio di funzionamento è, per lo più, quello delle camere di ionizzazione e dei contatori geiger. Quelli fissi possono avere più di un rilevatore e sono muniti di un allarme sonoro e visivo, nonché di un collegamento con un'unità di registrazione dei dati rilevati. Quelli portatili hanno in genere un solo rilevatore, ma possono anch'essi avere un allarme sonoro e visivo ed essere collegati con unità di registrazione.

Foto di un contatore a camera di ionizzazione



CARATTERISTICHE DEI CONTATORI GEIGER

Tra tutti gli strumenti, il più comune e il più adatto per misurazioni "casalinghe", in grado di rilevare a basso costo l'eventuale danno che le radiazioni ionizzanti possono provocare sugli organismi, è senz'altro il contatore geiger. Inoltre, poiché quello che interessa conoscere, ai fini dei danni sugli organismi, è la ionizzazione prodotta da una sostanza irradiata, l'unità di misura da prendere principalmente in considerazione è il röntgen (R), cioè l'unità di misura propria dei contatori geiger. Per questi, e per altri motivi pratici, tale strumento sarà scelto per le nostre misurazioni e merita una trattazione più approfondita.

Pregi e difetti del contatore geiger

Questo strumento ha molti pregi e pochi difetti. Tra i pregi rientra la semplicità d'uso, il basso costo d'acquisto e di utilizzo, la rapidità delle misurazioni, la precisione, l'affidabilità e la durata nel tempo. Tra i difetti vi è l'impossibilità di determinare l'energia delle radiazioni misurate e di rilevare, generalmente, le particelle alfa. Queste particelle, però, anche se hanno una grande energia, sono praticamente innocue, perché non possono penetrare oltre l'epidermide; inoltre, quando una sorgente radioattiva emette particelle alfa (o beta), emette anche radiazioni gamma, che rappresentano, si può dire, la compensazione fisica dell'emissione di particelle. Di conseguenza, le sorgenti di raggi alfa sono rilevate indirettamente attraverso il rilevamento dei raggi gamma. Conoscere poi l'energia delle radiazioni rilevate non è importante per salvaguardare la nostra salute. Non sono le radiazioni in se stesse a nuocerci, ma la ionizzazione da loro prodotta, e questa viene rilevata dal contatore geiger in tutta la sua consistenza.

Generalmente i contatori geiger sono meno precisi di quelli a scintillazione per quanto riguarda il rilevamento e la misurazione di bassi livelli di radiazione, ma se utilizzati con accortezza e per un periodo di tempo sufficientemente lungo possono dare risultati estremamente precisi. Quelli a scintillazione, del resto, sono molto delicati, sensibili alla luce e più costosi.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

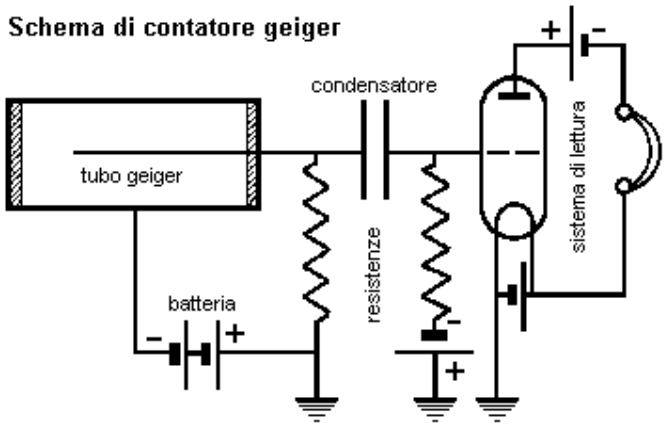
Il contatore geiger è dunque lo strumento da utilizzare per i nostri scopi.

Le informazioni sui contatori geiger

I contatori geiger sono divenuti popolari ai tempi degli esperimenti nucleari negli anni Cinquanta e Sessanta, ma mai come dopo il disastro nucleare di Chernobyl, nel 1986, questi apparecchi si sono diffusi tra la popolazione. In Unione Sovietica vennero prodotti molti tipi tascabili, alcuni dei quali computerizzati, e in Italia sono stati venduti perfino in scatola di montaggio. Nonostante questa diffusione, però, sono ancora poche le persone che posseggono un contatore geiger e ancora meno quelle che lo sanno usare adeguatamente. Manca infatti una letteratura divulgativa al riguardo. La rivista mensile "Nuova elettronica" ha sviluppato nel tempo numerosi progetti di contatori geiger, dando non solo tutte le indicazioni per realizzarli, e fornendo a richiesta i materiali, ma spiegando anche i principi di funzionamento e le istruzioni d'uso. Purtroppo però questi progetti non sono riusciti a informare adeguatamente il pubblico, lasciando spesso il lettore nel dubbio, nell'incertezza e nella confusione mentale.

Come è fatto un contatore geiger

Un contatore geiger è costituito da un tubo contenente un gas a bassa pressione (per esempio, una miscela di argon e vapore di alcool alla pressione di 0,1 atm). Lungo l'asse del tubo è teso un filo metallico, isolato dal tubo stesso. Tra il filo e il tubo si stabilisce una differenza di potenziale (di solito 1000 volt), attraverso una resistenza dell'ordine di un miliardo di ohm. Il circuito di lettura è costituito da un transistor amplificatore, accoppiato, mediante una resistenza e un condensatore, con il contatore. Tale circuito è munito di una cuffia e/o di un numeratore (strumento di lettura analogico o digitale).



Dove si acquistano i contatori geiger

Acquistare dei contatori geiger non è difficile; basta rivolgersi a un negozio di materiale elettronico e ordinare lo strumento che riteniamo più adatto per i nostri scopi (difficilmente il negoziante avrà disponibile un contatore geiger da mostrare).

I criteri di cui bisogna tener conto nella scelta

1. gamma e beta + gamma. Per prima cosa bisogna che il nostro contatore geiger abbia la possibilità di rilevare sia le particelle beta che i raggi gamma. Se teniamo alla nostra salute, è necessario poter rilevare anche le particelle beta. Generalmente un buon contatore geiger ha il tubo rilevatore fatto di materiale attraversabile dalle particelle beta. Tale tubo deve essere però collocato all'interno di un involucro impermeabile a dette particelle. In questo

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

modo, con una finestra apribile e chiudibile con un metallo in grado di non far passare le particelle beta, lo strumento potrà rilevare sia tutte le radiazioni fino al grado di penetrazione delle particelle beta (finestra aperta), sia solo le radiazioni con grado di penetrazione uguale o superiore ai raggi x e gamma (finestra chiusa).

2. Le dimensioni del tubo geiger. Le dimensioni del tubo geiger sono molto importanti perché più il tubo è grande, più lo strumento ha possibilità di ricevere radiazioni ionizzanti, e con maggiore costanza. Se le dimensioni sono più piccole di quelle di una pila ministilo, vuol dire che il tubo è adatto per misurare livelli molto alti di radioattività e, quindi, non fa al nostro caso. Se le dimensioni sono quelle di una pila stilo o superiori, merita di essere preso in considerazione. I contatori geiger più buoni hanno comunque la possibilità di sostituire il tubo geiger per adattare lo strumento ai livelli di radiazioni che si devono misurare.
3. Il sistema di lettura delle radiazioni. Un buon contatore geiger deve dare la possibilità di ascoltare con un altoparlantino, o in cuffia, la frequenza delle scariche rilevate. Gradito è però anche un voltmetro, analogico o digitale, che esprima con un valore numerico la dose di irradiazione nell'unità di tempo prestabilita. Ci sono strumenti che danno una lettura istantanea nell'arco di due secondi, ma con la possibilità di una lettura più accurata nell'arco di 20 o di 200 secondi. Il sistema però più appropriato per misurazioni precise è quello di poter fare contare lo strumento per un tempo prestabilito a scelta dell'utilizzatore. In questo modo si possono fare misurazioni brevi di sorgenti molto radioattive, e misurazioni lunghe di sorgenti poco radioattive. Le misurazioni lunghe sono poi indispensabili per tenere sotto controllo la cosiddetta "radioattività naturale", in gran parte costituita dai raggi cosmici.
4. Le dimensioni dell'intero strumento. Anche le dimensioni dell'intero strumento sono molto importanti, per la sua trasportabilità. Un contatore sensibile, con la possibilità di sostituire i tubi geiger, non può avere dimensioni microscopiche. È consigliabile, quindi, l'acquisto di due strumenti: uno piccolo, da taschino, ed economico, da portare sempre con noi per compiere misure indicative, e uno "grande", più costoso, per misure precise, da tenere in casa o da portare fuori con un certo impegno.

ALCUNI MODELLI DI CONTATORI GEIGER

È possibile che il lettore, prima di acquistare un contatore geiger, voglia essere informato di quelle che sono le caratteristiche di alcuni di questi strumenti, oppure, avendone acquistato uno, voglia conoscerlo meglio e confrontarlo con altri esistenti.

CONTATORE GEIGER Frieseke & Hoepfner modello FH 40 T

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Si tratta di uno strumento tedesco (ex RFT) degli anni Sessanta e Settanta, oggi acquistabile intorno alle 200 - 250 mila lire dai rivenditori di materiale surplus. A parte l'elettronica ormai superata, è uno strumento sempre valido e comodo da usarsi, molto robusto, versatile e affidabile. Registra una media di 8 impulsi al minuto (con tubo FHZ76V) o di 1,3 impulsi al minuto (con tubo FHZ74V). Altri tubi più sensibili sono reperibili.

CONTENUTO DELLA VALIGETTA (di legno)

- Il contatore geiger FH 40 T.
- La custodia di cuoio del contatore geiger, con tracolla e tasca per l'auricolare.
- La sonda.
- La custodia di cuoio della sonda.
- 2 tubi Geiger per bassa dose FHZ 76.
- 1 tubo Geiger per alta dose FHZ 74.
- L'auricolare.
- 2+1 batterie tipo B5GNK 0,225 VG95230.
- L'adattatore per la batteria inserita.
- La pinza per unione sonda-bastone.
- Il manuale (in tedesco).

Il contenuto della valigetta

CARATTERISTICHE

- Portata delle scale (con tubo FHZ 76):
  0... 1 R/h
  0... 25 mR/h
  0... 0,5 mR/h
  0... 10000 Impulsi/minuto (beta + gamma)
  0... 320 Impulsi/minuto (beta + gamma)
  0... 50 R/h (con tubo FHZ 74)
- Effetto nullo (senza schermo di Pb):
  5...12 Impulsi/minuto (FHZ 76)
  0... 5 Impulsi/minuto (FHZ 74)
- Finestra entrata raggi:
  densità gamma ca.650 mg/cmq (con schermo)
  densità beta+gamma ca. 40 mg/cmq (senza schermo)
- Alimentazione: 4V (4,0...7,6 Volt) con negativo a massa
- Batteria: al Ni-Cd da 6V/225mA/h
- Consumo dichiarato: 24 mA (misurato: 20mA, 75mA con illuminazione scala)
- Autonomia: ca. 10 ore

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- Temperatura di funzionamento: -40°C/+50°C
- Temperatura di stoccaggio: -40°C/+50°C
- Peso: ca. 1000 g (con batteria)

CONSERVAZIONE

- L'apparecchio si conserva dentro la scatola, nella propria custodia di cuoio, con inserito uno dei due tubi FHZ 76 e l'adattatore per la batteria (ma senza la batteria).
- Una volta l'anno vanno caricate le batterie e rigenerato il raccoglitore interno di umidità. Comunque è bene utilizzare l'apparecchio più di una volta l'anno, in modo da non perdere la confidenza con il suo uso e anche per avere la certezza che funzionerà quando ne avremo bisogno.

PRELIMINARI - da compiersi ad apparecchio spento (AUS)

- Inserire la batteria col Positivo verso l'interno.
- Eventualmente cambiare il tubo già inserito nell'apparecchio oppure inserire la sonda.
- Girare il commutatore di scala in senso orario di uno scatto se è inserito il tubo FHZ 76 o la sonda; in senso antiorario di uno scatto se è inserito il tubo FHZ 74.
- Regolare la tensione della batteria con la manopola apposita, finché la lancetta dello strumento non sia sul segno di destra (se non vi arriva, la batteria è scarica).

FUNZIONAMENTO (dopo i preliminari)

- Mettere l'auricolare (che è contenuto nella parte bassa della custodia di cuoio del contatore geiger).
- Girare il commutatore per scegliere la scala di misurazione.
- Se si usa la sonda e si vogliono misurare anche i raggi beta, girare la schermatura cromata su di essa.

NOTE

- Radiazioni deboli
  Un'attività relativamente debole non permette di rilevare alcun impulso costante, ma una serie irregolare di battiti alti e bassi. In questo caso si ottiene una giusta misurazione attraverso il valore medio tra la media dei battiti minimi e la media dei battiti massimi. Utilizzando però l'uscita dell'auricolare, e collegandovi un numeratore, è possibile compiere misurazioni lunghe a piacere che permettono una valutazione esatta anche del fondo naturale di radiazioni.
- Raggi beta
  Se si vuole ricavare l'intensità dei raggi beta da una sorgente sconosciuta o mista (beta + gamma), vanno confrontati i valori letti sulla scala dei soli raggi gamma con quelli letti sulla scala corrispondente dei raggi beta + gamma. La comparazione si effettua osservando le differenze angolari di spostamento della lancetta in entrambe le misurazioni.
  Le seguenti scale possono essere comparate tra loro:
  0 ... 0,5 mR/h con 0 ... 320 Imp/min
  0 ... 25 mR/h con 0 ... 10000 Imp/min
  Prima si misurano solo i raggi gamma, poi quelli beta + gamma.
- Cambio del tubo
  Prima di ogni cambio del tubo, spengere l'apparecchio.
- Applicazione del tubo FHZ 74 (ad alta dose)
  Se viene inserito nell'apparecchio il tubo FHZ 74, il commutatore di scala deve essere girato

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

(da AUS) solo in senso antiorario. La prima commutazione mostra la scala della batteria, la seconda la scala di valori 0 ... 50 R/h (solo per raggi gamma).

- Sonda
  L'inserimento della sonda va fatto ad apparecchio spento.
- Utilizzo della sonda col tubo a bassa dose FHZ 76
  Dopo aver levato il tubo dalla camera del misuratore FH 40 T, la schermatura dei raggi d'entrata tramite la scelta della scala non ha più significato, per cui la sonda viene provvista di una propria schermatura, la quale, a seconda che si misurino i raggi gamma oppure i raggi beta + gamma, deve essere manualmente girata per chiudere o aprire la finestrina.
  Con il tubo per dosi alte FHZ 74 nella sonda, non si può adoperare la scala 0 ... 50 R/h.
  [Un modo comodo di utilizzare la sonda è di fissarla all'estremità di un bastone tramite la pinza in dotazione. Poiché la sonda può sporcarsi, è bene coprirla con un sacchetto di cellofan].
- Prova di corretto funzionamento
  Uno speciale accessorio (emettitore di radiazioni) va applicato in un apposito posto dell'apparecchio vicino al tubo geiger. Usando il tubo FHZ 76 e la scala 0 ... 25 mR/h, lo strumento deve indicare un valore di 5 mR/h (+/-15%, circa 6 mm).
  Poiché, però, l'emettitore di radiazioni non viene consegnato insieme all'apparecchio, per ovvi motivi di sicurezza, il buon funzionamento si può rilevare anche con l'effetto nullo, utilizzando la scala 0 ... 0,5 mR/h o la scala 0 ... 320 Imp/min. Utilizzando il tubo FHZ 76, la media degli impulsi al minuto deve essere circa 8, per una misurazione di almeno dieci minuti.
- Batteria
  Il cambio della batteria si effettua ad apparecchio spento.
  La parte negativa della batteria deve stare verso l'avvitatore.
  Se la batteria viene inserita male, non si ha contatto.
  Ricaricare nuovamente le batterie che sono state caricate l'ultima volta da più di un anno.
- Pulizia
  Pulire l'esterno dell'apparecchio di tanto in tanto (con acqua, più eventualmente un detergente non granuloso o abrasivo).
- Misure di sicurezza
  L'accessorio per la taratura (sorgente Cs), nel caso dovesse essere consegnato insieme all'apparecchio, va subito riposto dopo l'uso perché emette radiazioni. **In modo particolare non deve essere portato addosso o lasciato incustodito**.
- Raccoglitore di umidità
  Estrarre il raccoglitore di umidità dopo aver svitato le quattro viti che stringono lo sportellino posteriore dell'apparecchio. Quando il raccoglitore è scarico assume un colore arancione, quando è carico è di colore blu. A cose normali diventa arancione dopo un anno di funzionamento dell'apparecchio, e va rigenerato.
  Il raccoglitore di umidità si rigenera mettendolo in un forno a 100 gradi per circa un'ora. Dopo questo trattamento ritorna blu e deve essere rimesso subito al suo posto.
  Nel caso che all'interno dell'apparecchio ci sia molta umidità, togliere la batteria e il tubo geiger e asciugare l'apparecchio con un phon. Attenzione però: con temperature superiori a 50 gradi si possono danneggiare le parti elettriche; tenere quindi il phon distante.
  Nel riposizionare lo sportellino posteriore fare attenzione alla guarnizione di tenuta.

ACCESSORI OPZIONALI

- Tubo FHZ 72 (da immergere direttamente nei liquidi)
- Tubo FHZ 73 (con bicchierino per i liquidi)

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

PICCOLO CONTATORE GEIGER DI NUOVA ELETTRONICA (agosto 1987)

La rivista *Nuova Elettronica* ha realizzato e pubblicato negli ultimi anni alcuni progetti di contatori geiger, fornendo a un prezzo onesto tutti i componenti e le istruzioni per la realizzazione concreta degli strumenti. Il più diffuso di questi contatori geiger è uno strumento di colore nero e dimensioni contenute, contrassegnato dalla sigla LX.788 e venduto nel 1987 a lire centomila (in scatola di montaggio). L'articolo introduttivo ed esplicativo per la costruzione e l'uso dello strumento (Nuova Elettronica, Anno 19 - n. 116) contiene, però, alcune imprecisioni concettuali che possono generare confusione o incertezza tra i neofiti. Soprattutto, si confondono i radioisotopi con le radiazioni ionizzanti (un po' come confondere le lampadine con la luce che emettono); inoltre si confonde il valore numerico dei röntgen (R) con quello dei rem (cioè si confonde la dose di esposizione con l'equivalente di dose e, quindi in definitiva, con la dose assorbita). Ne segue che gli esempi concettuali fatti non sono sempre appropriati. Nonostante queste imprecisioni concettuali, del resto non rilevanti sul piano pratico, alla rivista va il merito di aver svolto una funzione di grande utilità sociale.

Lo strumento mostra, sul frontale, dieci Led: uno isolato e nove in colonna. Per usare lo strumento, occorre inserire nell'apposito scomparto una batteria a 9 volt e accendere l'interruttore che si trova sul lato destro. Il Led isolato lampeggia e indica lo stato di funzionamento. L'accensione di uno dei nove Led in colonna (4 verdi e 5 rossi) indica il valore di esposizione misurato in mR/h, da 0,01 mR/h a 0,07 mR/h. L'accensione del quinto Led (il primo dei rossi) indica il livello di guardia e viene segnalato con un suono. Il piccolo tubo geiger utilizzato misura una media di 180 impulsi all'ora per dosi di esposizione pari a 0,016 mR/h (effetto nullo) e si trova vicino al lato alto, disposto parallelamente a questo lato. Ogni lettura dura circa venti secondi, dopo i quali il contatore si azzera per ricominciare a contare. Per ogni radiazione rilevata nei venti secondi della misurazione, si accende un Led, a partire da quello basso. A cose normali, in tale periodo di tempo, dovrebbe accendersi solo un Led verde, ma, data la scarsa sensibilità del tubo, in pratica non dovrà accendersi nessun Led oltre il terzo. Se però dovesse accendersi un Led oltre il terzo, è bene ripetere la misurazione altre volte, per non allarmarsi inutilmente. Solo se il fenomeno dovesse ripetersi con frequenza nelle misurazioni successive, avremmo la certezza di aver rilevato un'irradiazione superiore al normale. Purtroppo le incertezze delle misurazioni con irradiazioni deboli dipendono dalle minuscole dimensioni del tubo geiger e dal tempo breve di misurazione, che rendono questo strumento poco adatto ai nostri scopi. Inoltre, il sistema di lettura non permette neppure di valutare adeguatamente dosi consistenti di irradiazione, per le quali le piccole dimensioni del tubo sarebbero più adatte. Lo strumento, comunque, può essere utile per misurazioni d'emergenza e approssimative

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

fuori dalla nostra abitazione, considerando anche la facilità con cui lo strumento può essere portato in tasca o in borsa.

Si tratta pertanto di uno strumento poco adatto sia per misurare valori bassi di irradiazione che per valori alti. Necessiterebbe di un vero e proprio contatore esterno per rilevare quantità minime di radioattività. In tal caso sarebbe possibile aumentare a piacere il tempo di misurazione. Ad esempio, con una misurazione di un'ora gli impulsi contati (effetto nullo) non dovrebbero mai essere troppo distanti da 180. Il collegamento con un contatore esterno non è però previsto e per realizzarlo occorre un tecnico che intervenga sul circuito elettronico.

PANORAMICA RAPIDA DI CONTATORI GEIGER (ex) SOVIETICI

La rilevante produzione e diffusione di contatori geiger nel territorio della ex Unione Sovietica è dovuta principalmente al disastro nucleare di Chernobyl. In Italia ne sono arrivati tantissimi, per la quasi totalità portati dai cittadini polacchi e venduti per poche migliaia di lire. Un sistema di vendita che ha fatto molto discutere, ma che rientrava in un vasto programma di aiuti verso la Polonia e i Paesi dell'Est in genere. Oggetti non reperibili in Italia dati in cambio di un piccolo aiuto economico.

PKC-20.03 (PRIPIATS)

- Strumento di lettura: digitale, a cristalli liquidi
- Sonoro: sì, escludibile
- Numero tubi geiger: 2, tipo SBM20 9011 o equivalenti
- Impulsi al minuto nell'effetto nullo: 48
- Finestra per soli gamma o beta+gamma: sì
- Misurazioni possibili:
  Dose di esposizione in mR/h (valori normali indicati dal display: intorno a 0,016)
  Equivalente di dose in microSv/h (valori normali indicati dal display: intorno a 0,16)

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Densità del flusso di particelle su cmq al minuto (valori normali indicati dal display: intorno a 8)
Attività specifica in Ci/Kg (valori normali indicati dal display: intorno a $400x10^{-9}$)

- Commutatore di scala: sì
- Commutatore dei tempi: sì (20 e 200 secondi, 10 e 100 minuti per l'attività specifica)
- Presa per interfacciamento: no
- Presa di alimentazione esterna: sì
- Alimentazione: 9 V, con batteria "transistor"
- Indicazione tensione della batteria di alimentazione: sì
- Difetti: in alcuni di questi strumenti il voltmetro a cristalli liquidi si annerisce dopo poco tempo.

USO NORMALE
Valori in mR/h misurati con medie di 200 secondi:
Commutatore alto centrale su "gamma"
Commutatore alto destro su "X"
Commutatore basso a sinistra (tempo) su 200 secondi
Commutatore basso a destra (scala) su 2.000 per valori bassi, su 20.00 per valori alti

Si tratta di uno strumento molto versatile, con cui è possibile compiere misurazioni sia istantanee che accurate. Dispone di due tubi geiger in parallelo di dimensioni abbastanza grandi e di una finestra per i raggi beta. Dispone inoltre di numerose scale e tipi di lettura, non solo per la dose di esposizione, ma anche (con equiparazioni un po' forzate) per quella assorbita e per l'attività specifica.

AHPN-01-02 (COCHA)

- Strumento di lettura: digitale, a cristalli liquidi
- Sonoro: no, solo avviso a fine lettura
- Numero tubi geiger: 2 o 4, tipo SBM20 9011 o equivalenti
- Impulsi al minuto nell'effetto nullo: 48 o 96
- Finestra per soli gamma o beta+gamma: sì

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

- Misurazioni possibili:
  Dose di esposizione in mR/h
  Densità del flusso di particelle su cmq al minuto
- Commutatore di scala: no
- Commutatore dei tempi: sì (per 20 secondi e indefinitamente)
- Presa per interfacciamento: sì
- Alimentazione: 9 V, con batteria "transistor"
- Presa di alimentazione esterna: no
- Indicazione tensione della batteria di alimentazione: no
- Difetti: possibili ai cristalli liquidi dello strumento di lettura.

Interruttore di destra > Acceso/Spento

Interruttore di sinistra:

- a sinistra conta per 20"
- a destra conta indefinitamente con un suono ogni 10 scatti

Pulsante sinistro: test strumento

Pulsante destro: avvio/stop/azzera

In altri esemplari:

Pulsante sinistro: test strumento

Pulsante centrale: avvio/azzera

Pulsante destro: stop

USO (per misure veloci):

1. Interruttore di sinistra a sinistra
2. Accendere con interruttore di destra
3. Premere pulsante di avvio
4. Dopo 20 secondi valore in mR/h

USO (per misure accurate):

1. Interruttore di sinistra a destra
2. Accendere con interruttore di destra
3. Premere pulsante di avvio e insieme avviare un cronometro (via)
4. Premere pulsante di destra e fermare cronometro (stop)
5. mR/h=Impulsi/Secondi/50

Esempio di misurazione accurata (tempo in secondi, valore in mR/h):
impulsi rilevati dal display: 453
durata della misurazione: 15'33" (933 secondi)
valore in mR/h = 453/933/50 = 0.0097

TEST STRUMENTO

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

1. Interruttore di sinistra a sinistra
2. Accendere con interruttore di destra
3. Premere e tenere premuto pulsante sinistro
4. Premere pulsante di avvio
5. Dopo 20 secondi si ferma al numero 1024

NOTA:

-Il numero di impulsi dopo 20 secondi corrisponde al numero doppio di particelle al minuto su una superficie di 1 cmq.

Anche questo strumento dispone di due tubi geiger in parallelo di grandi dimensioni. Alcune versioni ne hanno addirittura quattro. Ciò rende lo strumento molto sensibile e adatto a misurazioni veloci. La sua caratteristica più importante, però, è quella di permettere di compiere misurazioni nel tempo lunghe a piacere e, quindi, di rilevare variazioni anche piccolissime delle radiazioni naturali di fondo. Ovviamente il valore numerico ottenuto dopo le misurazioni deve essere rapportato al tempo, come indicato sopra, nell'uso per misure accurate.

MASTER 1

- Strumento di lettura: digitale, a cristalli liquidi
- Sonoro: no
- Numero tubi geiger: 1
- Finestra per soli gamma o beta+gamma: no, legge solo radiazioni gamma
- Misurazioni possibili:
  Equivalente di dose in microSv/h
- Commutatore di scala: no
- Commutatore dei tempi: no
- Presa per interfacciamento: no
- Alimentazione: 6 V, con 4 pile a bottone
- Presa di alimentazione esterna: no
- Indicazione tensione della batteria di alimentazione: no
- Difetti: non riscontrati.

USO:

1. Accendere con interruttore in alto a destra
2. Premere pulsante
3. Dopo 36" dà il valore in microSv/h (il valore in micro sievert è equivalente a quello in millirem se diviso per 10).

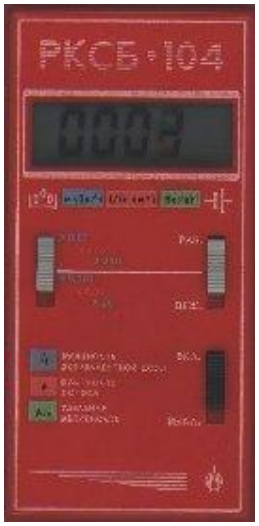
PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Es: 0.12 microSv/h = 0.012 millirem/h.

Posizione del tubo: in alto a sinistra

Si tratta di uno strumento di dimensioni molto ridotte (misura infatti solo 12 x 4 x 1,5 cm) con un tubo geiger abbastanza grande per rilevamenti minimi di dose e un display a cristalli liquidi con indicazioni numeriche. Veramente comodo, da portare anche in un taschino, e affidabile.

PKCb 104



- Strumento di lettura: digitale, a cristalli liquidi
- Sonoro: no, solo avviso a fine lettura
- Numero tubi geiger: 2, tipo SBM20 9011 o equivalenti
- Impulsi al minuto nell'effetto nullo: 43
- Finestra per soli gamma o beta+gamma: sì
- Misurazioni possibili:
  Dose di esposizione in mR/h
  Equivalente di dose in microSv/h
  Densità del flusso di particelle su cmq al minuto
  Attività specifica in Bq/Kg
- Commutatore di scala: no
- Commutatore dei tempi: sì (18 e 180 secondi, 28 e 280 secondi, 40 e 400 secondi)
- Presa per interfacciamento: sì
- Alimentazione: 9 V, con batteria "transistor"
- Presa di alimentazione esterna: no
- Indicazione tensione della batteria di alimentazione: no
- Difetti: possibili ai cristalli liquidi dello strumento di lettura.

Interruttore nero: acceso/spento

Interruttore di sinistra: in alto per dosi relativamente alte / in basso per dosi basse

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Interruttore di destra: in alto suona (ma solo per avviso di fine lettura) / in basso non suona

Switch posteriori (a partire dall'alto, cioè dall'interruttore 8):
00111111 o 00111010 per valori in microSv/h o in mR/h (la prima è la posizione normale)
01010110 per la densità del flusso di particelle
10011010 per l'attività specifica.

USO (per misure veloci):

1. Interruttore di sinistra in alto
2. Interruttore di destra in alto (avvisa)
3. Accendere con interruttore nero
4. Dopo la misura, leggere il numero del display.
5. Valore in mR/h: numero letto / 1000 (mille)

USO (per misure accurate):

1. Interruttore di sinistra in basso
2. Interruttore di destra in alto (avvisa)
3. Accendere con interruttore nero
4. Dopo la misura, leggere il numero del display
5. Valore in mR/h: numero letto / 10000 (diecimila)

COME SI USANO I CONTATORI GEIGER

Principi generali da tenere presenti:

-Le radiazioni ionizzanti possono essere altamente pericolose se producono elevata ionizzazione nei corpi o se la ionizzazione, pur bassa, dura a lungo nel tempo.

-Le radiazioni ionizzanti diminuiscono considerevolmente i loro effetti dannosi allontanando la sorgente radioattiva o frapponendo oggetti assorbenti tra la sorgente e i corpi irradiati.

-Le radiazioni ionizzanti non sono pericolose in se stesse, ma per la ionizzazione che esse producono nella materia. Importante, dunque, non è tanto conoscere l'energia di tali radiazioni, ma piuttosto i suoi effetti, cioè l'entità della ionizzazione da esse prodotta.

-Il contatore geiger è uno strumento in grado di rilevare e misurare molto bene proprio la ionizzazione prodotta dalle radiazioni.

Stabilire gli impulsi di un contatore geiger in presenza delle sole radiazioni di fondo.

Tutti i contatoti geiger, anche i più semplici, sono in grado di rilevare il passaggio di una radiazione ionizzante per mezzo di una scarica elettrica, che può essere amplificata e "ascoltata" in cuffia o con un altoparlante, oppure può essere "vista" tramite l'accensione di Led o lo spostamento di un indice. In ogni caso, chiamiamo "impulsi" le scariche elettriche dovute al passaggio delle radiazioni, indipendentemente dal sistema utilizzato per registrarle.

Poiché anche in condizioni normali sono sempre presenti delle radiazioni (il fondo naturale di radiazioni), il primo problema da risolvere per utilizzare un contatore geiger consiste nello stabilire quanti impulsi rilevati con quel contatore (più esattamente con il tubo geiger usato dal contatore)

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

corrispondano al livello medio delle radiazioni di fondo della zona dove si compiono le misure. Per fare ciò occorre effettuare alcune misurazioni della durata di qualche minuto (ad esempio dieci minuti sono sufficientemente indicativi per la maggior parte dei tubi geiger) e contare quanti impulsi si sono avuti in quell'arco di tempo. Dividendo il numero degli impulsi per i minuti, si ottiene la media degli impulsi al minuto. Ripetendo più volte (in luoghi diversi e a distanza di tempo) misurazioni di questo tipo, si fa presto ad avere un'idea chiara di quanti impulsi deve misurare il nostro contatore geiger in condizioni normali di radiazioni.

Se nella zona dove compiamo le misure non ci sono fonti locali di radiazioni, la quasi totalità delle radiazioni di fondo misurate saranno dovute ai raggi cosmici. Poiché al livello del mare si ha una media di una radiazione cosmica al minuto su una superficie di un centimetro quadrato, gli impulsi di un tubo geiger possono essere determinati dalle dimensioni del tubo stesso. I raggi cosmici possono diminuire o aumentare, entro certi limiti, a seconda delle condizioni atmosferiche, dell'ora del giorno e della notte e di altri fattori. Per questo motivo i valori misurati potrebbero non essere gli stessi tra una lettura e l'altra; ma se il tempo di misurazione è abbastanza lungo (almeno dieci minuti), i valori saranno comunque vicini tra loro. Attraverso misurazioni successive si avrà modo di capire il comportamento dei raggi cosmici, oltre quello del tubo geiger.

Come trasformare gli impulsi in mR/h.

Il secondo problema da risolvere consiste nel ricavare, dagli impulsi rilevati, il valore della dose di esposizione in mR/h. Una volta che sono conosciuti gli impulsi del tubo geiger per i valori di fondo, un metodo empirico, ma efficace, per ricavare l'esposizione in mR/h consiste nel contare gli impulsi al minuto rilevati in una misurazione e dividerli per 60. Il valore così ottenuto va poi diviso per gli impulsi del tubo stabiliti per i valori di fondo. Ad esempio, se utilizzando un tubo da 8 imp/min (nominali) si ottenesse una misurazione media di 10 impulsi al minuto, l'esposizione misurata sarebbe di 0,0208 mR/h (= 10/60/8). Questo sistema funziona solo per valori molto bassi di esposizione, diciamo fino a dieci volte i valori di fondo, perché per valori più alti gli impulsi tendono a confondersi e il tubo geiger presenta dei "tempi morti" (della durata di qualche microsecondo) che sfuggirebbero alla nostra lettura. Per forti dosi di esposizione, che peraltro non presentano difficoltà di rilevamento come per le dosi deboli, è necessario un display di lettura. Il metodo empirico sopra descritto presuppone un valore normale di esposizione pari a 0,0167 mR/h. Questo valore, però, può variare da zona a zona e da abitazione ad abitazione. Ciò dipende dalla natura delle rocce dei luoghi e dai materiali usati nelle costruzioni.

Stabilire dei valori assoluti non è facile e, forse, non è possibile. Comunque non è neppure necessario. Indipendentemente dal valore del fondo naturale, quello che conta davvero è rilevare le variazioni quando si avvicina il nostro contatore alle sorgenti di radiazioni oppure notare col passare del tempo variazioni nell'ambiente.

Esempio di tabella di rilevamento con collegamento al computer del contatore geiger
(La tabella non è leggibile con vecchi browser)

MISURE DI RADIAZIONI IONIZZANTI - FILE 96425455.GEI

Giorno: 25-04-1996
Inizio misure ore: 11:23
Fine misure ore: 17:03
Durata misure: 5 ore e 40 minuti
Località: Barga (Lu)
Luogo: abitazione, garage

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

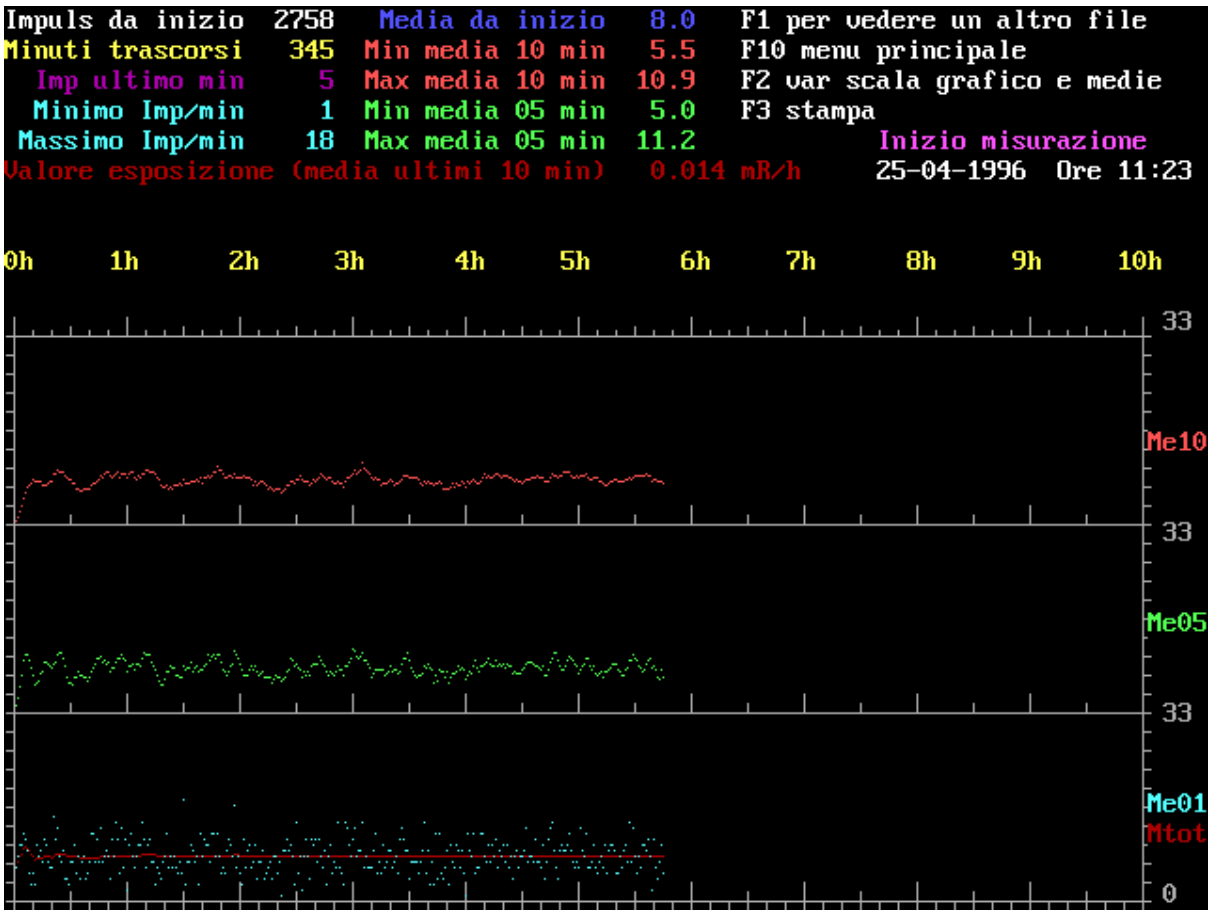
Oggetto: raggi cosmici
Radiazioni non rilevate: alfa e beta
Rilevatore: tubo geiger FHZ76V
Orientamento rilevatore (orizzontale): Nord-Sud

Ore	Tempo trascorso	Impulsi ultimo minuto	Impulsi totali	Media imp. da inizio	Media imp. ogni 10'	Media mR/h ogni 10'
11:33	00:10	5	79	7,9	7,9	0,015
11:43	00:20	6	156	7,8	7,7	0,015
11:53	00:30	7	237	7,9	8,1	0,016
12:03	00:40	7	302	7,6	6,5	0,013
12:13	00:50	8	396	7,9	9,4	0,018
12:23	01:00	2	481	8,0	8,5	0,017
12:33	01:10	6	576	8,2	9,5	0,019
12:43	01:20	8	644	8,1	6,8	0,013
12:53	01:30	18	725	8,1	8,1	0,016
13:03	01:40	8	799	8,0	7,4	0,015
13:13	01:50	5	894	8,1	9,5	0,019
13:23	02:00	5	979	8,2	8,5	0,017
13:33	02:10	7	1052	8,1	7,3	0,014
13:43	02:20	5	1115	8,0	6,3	0,012
13:53	02:30	14	1196	8,0	8,1	0,016
14:03	02:40	11	1274	8,0	7,8	0,015
14:13	02:50	7	1348	7,9	7,4	0,015
14:23	03:00	11	1438	8,0	9,0	0,018
14:33	03:10	6	1523	8,0	8,5	0,017
14:43	03:20	9	1602	8,0	7,9	0,015
14:53	03:30	4	1685	8,0	8,3	0,016
15:03	03:40	9	1762	8,0	7,7	0,015
15:13	03:50	9	1827	7,9	6,5	0,013
15:23	04:00	1	1893	7,9	6,6	0,013
15:33	04:10	8	1983	7,9	9,0	0,018
15:43	04:20	10	2069	8,0	8,6	0,017
15:53	04:30	8	2143	7,9	7,4	0,015
16:03	04:40	6	2226	7,9	8,3	0,016
16:13	04:50	9	2313	8,0	8,7	0,017
16:23	05:00	6	2398	8,0	8,5	0,017
16:33	05:10	5	2480	8,0	8,2	0,016
16:43	05:20	5	2559	8,0	7,9	0,015
16:53	05:30	8	2646	8,0	8,7	0,017
17:03	05:40	11	2726	8,0	8,0	0,016

Minima media ogni 10 minuti: 5,5 - 0,011 mR/h
Massima media ogni 10 minuti: 10,9 - 0,021 mR/h
Minima media ogni 05 minuti: 5,0 - 0,010 mR/h
Massima media ogni 05 minuti: 11,2 - 0,022 mR/h
Minimo impulsi al minuto: 1 - 0,002 mR/h
Massimo impulsi al minuto: 18 - 0,035 mR/h
Media degli impulsi: 8,0
Media mR/h: 0,0167

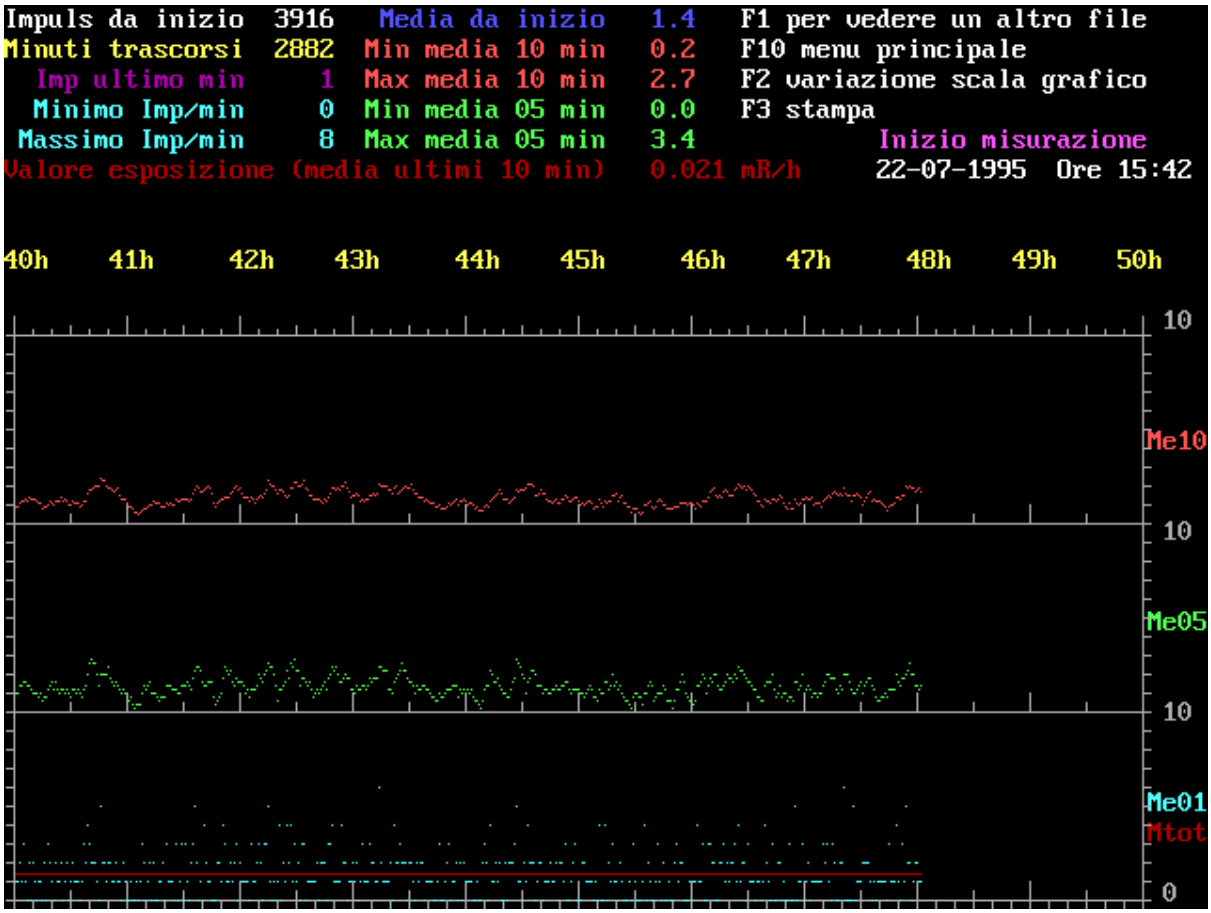
PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Qui di seguito la schermata con il grafico degli stessi dati della tabella precedente



Qui di seguito la schermata riguardante le ultime otto ore di una misurazione con tubo FHZ74

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com



Come misurare.

Supponiamo ora di avere un contatore geiger che dia già valori in mR/h o di essere noi in grado, come sopra descritto, di trasformare gli impulsi letti in mR/h. Supponiamo anche che il valore normale di esposizione si aggiri, nella zona dove si misura, intorno a 0,016 mR/h. Innanzi tutto, occorre accendere il contatore geiger e porlo vicino all'oggetto che vogliamo misurare: un cartone di latte, una bottiglia d'acqua, una mattonella del pavimento, le lancette fosforescenti di un orologio, una parte del corpo umano, ecc. A meno che l'eventuale sorgente radioattiva non sia molto forte, nel qual caso ce ne accorgeremmo subito, occorre misurare per un periodo di tempo abbastanza lungo (i soliti dieci minuti sono in genere sufficienti), poiché l'emissione di radiazioni, specialmente se debole, non è costante. Se ottenessimo un valore decisamente al di sopra di quello medio conosciuto, ad esempio se ottenessimo un valore di 0,022 mR/h avremmo la certezza di trovarci di fronte a una piccola fonte di radiazioni ionizzanti, che potremmo avere individuato nel cartone di latte o nella bottiglia d'acqua minerale. La controprova delle nostre misurazioni si può ottenere allontanando il contatore geiger dall'oggetto misurato. In questo caso i dati rilevati dovranno scendere a valori normali.

L'allontanamento dalla sorgente radioattiva è determinante per la diminuzione della dose di esposizione rilevata, perché, a meno che la sorgente non sia molto estesa nello spazio, i valori diminuiscono in ragione del quadrato della distanza, come se la sorgente fosse puntiforme (è il caso, in pratica, del cartone di latte o della bottiglia d'acqua).

Come misurare anche le radiazioni beta.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Quando si compiono misurazioni di prodotti alimentari o di oggetti con cui abbiamo contatti fisici, occorre misurare anche le radiazioni beta. A tal fine bisogna aprire la finestra che copre il tubo geiger (il contatore deve offrire questa possibilità).

Potrebbe essere utile cercare di capire in che misura la sorgente radioattiva emetta radiazioni beta e radiazioni gamma. In tal caso è sufficiente compiere due diverse misurazioni: una con la finestra del rivelatore aperta (radiazioni beta e gamma) e una con la finestra del rivelatore chiusa (solo radiazioni gamma).

Naturalmente, per fare misure attendibili occorre un po' di esperienza.

Per avere informazioni del pericolo che corriamo rilevando misurazioni superiori ai livelli normali, e per conoscere la soglia di pericolo, si tenga presente quanto già detto in Gli effetti delle radiazioni sull'organismo. Per sapere, invece, come difenderci dalle radiazioni e come valutare, con esempi concreti, le sorgenti radioattive individuate, si veda "Come difenderci dalle radiazioni" (che però ancora non è attivato). In pratica, si tenga presente che se i valori misurati sono il doppio di quelli normali, e possiamo essere esposti per lungo tempo alle radiazioni, dobbiamo cominciare a prestare attenzione alla sorgente radioattiva.

Fine

© Copyright 1998 by Enrico Barsanti

Prima edizione su Internet: 9 giugno 1998

Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono quelle radiazioni dotate di sufficiente energia da poter ionizzare gli atomi (o le molecole) con i quali vengono a contatto.

Da sempre l'uomo è soggetto all'azione di radiazioni ionizzanti naturali, alle quali si da il nome di fondo radioattivo naturale (o più semplicemente fondo naturale). Il fondo naturale è dovuto sia alla radiazione terrestre (radiazione prodotta da nuclidi primordiali o da nuclidi cosmogenici) che da quella extraterrestre (la radiazione cosmica). Per la loro presenza l'uomo riceve mediamente una dose di 2.4 mSv/a, valore che però varia moltissimo da luogo a luogo. Nel nostro paese ad esempio la dose media valutata per la popolazione è di 3.4 mSv/a. Questo valore deve costituire il riferimento per dare eventuali valutazioni di rischio radioprotezionistico. La caratteristica di una radiazione di poter ionizzare un atomo, o di penetrare più o meno in profondità all'interno della materia, dipende oltre che dalla sua energia anche dal tipo di radiazione e dal materiale con il quale avviene l'interazione. Le radiazioni ionizzanti si dividono in due categorie principali: quelle che producono ioni in

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

modo diretto (le particelle cariche α , β^- e β^+;) e quelle che producono ioni in modo indiretto (neutroni, raggi γ e raggi X).

Tipi di Radiazione

I diversi tipi di radiazione elettromagnetica: raggi alfa (basso potere di penetrazione nella materia), radiazione beta e radiazione gamma (alto potere di penetrazione)

Le radiazioni ionizzanti possono essere prodotte con vari meccanismi. i più comuni sono : decadimento radioattivo, fissione nucleare, fusione nucleare, emissione da corpi estremamente caldi (radiazione di corpo nero) o da cariche accelerate (bremsstrahlung, o radiazione di sincrotrone).

Per poter ionizzare la materia la radiazione deve possedere un'energia tale da poter interagire con gli elettroni degli atomi cui viene a contatto. Le particelle cariche possono interagire fortemente con la materia, quindi elettroni, positroni e particelle alfa, possono ionizzare la materia direttamente. Queste particelle possono derivare dai decadimenti nucleari che vengono chiamati decadimento alfa per le particelle alfa e beta per gli elettroni e i positroni. In questi casi il potere di penetrazione di queste radiazioni è limitato, in quanti le particelle alfa (anche se molto ionizzanti) non possono superare strati di materia superiori ad un foglio di carta, mentre le particelle beta possono essere schermate da un sottile strato di alluminio. Anche i fotoni e i neutroni d'altro canto, pur non essendo carichi, se dotati di sufficiente energia possono ionizzare la meteria (fotoni con frequenza pari o inferiore ai raggi ultravioletti sono ritenuti ionizzanti per l'uomo). In questo caso, queste particelle sono meno ionizzanti delle precedenti, ma possono penetrare molto a fondo nella materia e per quelli più energetici potrebbe non bastare un grosso muro di cemento armato per schermarle (vedi figura a lato).

Effetti biologici

Nei casi in cui la radiazione ionizzante incida su tessuti biologici, può causare danni di tipo sanitario. Come abbiamo visto la radiazione alfa presenta una basso potere di penetrazione, quindi viene facilmente fermata dallo strato superficiale della pelle costituita da cellule morte, quindi non è pericolosa per l'uomo nei casi di irradiazione esterna. Diventa invece pericolosa nelle situazioni in cui la sorgente radioattiva viene inalata o ingerita (irradiazione interna) perché in questo caso può ledere direttamente tessuti radiosensibili (tipico caso è quello del radon in cui appunto l'isotopo radioattivo viene

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

inspirato e quindi può decadere all'interno del corpo umano emettendo radiazione alfa). La radiazione gamma (fotoni) invece, avendo un potere di penetrazione molto elevato, può risultare pericolosa per gli esseri viventi anche in situazioni di irradiazione esterna. La quantità di radiazione assorbita da un corpo viene chiamata dose assorbita e si misura in gray.altre grandezze importanti da considerare sono la dose equivalente e la dose efficace. I danni che una radiazione ionizzante può provocare i tessuti biologici sono di vario tipo e vengono suddivisi in:

- danni somatici deterministici
- danni somatici stocastici
- danni genetici stocastici

Il röntgen (simbolo R) è una unità di misura della radiazione ionizzante come raggi X e raggi gamma. Il röntgen è riferito solo a radiazioni X e gamma. Non fa più parte delle unità del Sistema Internazionale. Il röntgen è definito come la quantità di radiazione che produce in un campione di aria di 1mL a 0°C e 1 atm, una ionizzazione corrispondente ad una carica elettrica di 1 ues ovvero $2{,}08\times10^9$ coppie di ioni.

Il rem è un'unità di misura della dose equivalente di radiazioni. La parole "rem" è un acronimo in lingua inglese per *Roentgen equivalent man* ovvero "roentgen equivalente per uomo"; indica la quantità di radiazione necessaria a produrre un effetto biologicamente dannoso. Il rem è definito come il prodotto della dose assorbita espressa in rad per un fattore di qualità Q che tiene conto del differente impatto biologico dei diversi tipi di radiazione. Per raggi X e raggi gamma Q è pari a 1, per i neutroni Q varia tra 5 e 20 a seconda dell'energia, per la radiazione alfa Q è pari a 20.

Poichè la dose di 1 rem è piuttosto elevata, si fa spesso uso del suo sottomultiplo, il millirem.

Nel Sistema Internazionale il rem è stato sostituito dal sievert con la conversione: 1 Sv = 100 rem.

Il sievert (simbolo Sv) è l'unità di misura della dose equivalente di radiazione nel Sistema Internazionale. Tale grandezza ha le stesse dimensioni della dose assorbita, ovvero energia per unità di massa.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

Nel caso di raggi X, beta o gamma, 1 Gy di dose assorbita equivale ad 1 Sv di dose equivalente. Mentre per i raggi alfa abbiamo 1 Gy equivalente a 20 Sv, per i fasci di neutrone invece 1 Gy può equivalere da 3 a 11 Sv a seconda dell'energia del fascio.

Il curie (simbolo Ci) è un'unità di misura della radioattività pari a $3{,}700\times10^{10}$ becquerel.

Un curie è pari approssimativamente all'attività di un grammo dell'isotopo radio-226 (^{226}Ra), un materiale studiato dai pionieri dello studio della radioattività Marie Curie e Pierre Curie da cui l'unità prende il nome.

Il curie è stato sostituito dal becquerel nel sistema SI.

Il becquerel (simbolo Bq) è un'unità di misura derivata del Sistema Internazionale della radioattività, definita come l'attività di un materiale in cui si ha un decadimento al secondo. Perciò dimensionalmente equivale a s^{-1}.

Inoltre rispetto alla vecchia unità, il curie, è pari a

$$1\ \text{Bq} = 2{,}7\times10^{-11}\ \text{Ci} = 27\ \text{picocurie}$$

Il becquerel deve il suo nome a Antoine Henri Becquerel, che nel 1903 vinse il premio Nobel insieme a Marie Curie e Pierre Curie per il loro pionieristico lavoro sulla radioattività.

Il rad (*Radiation Absorbed Dose*) è un'unità di misura della dose di radiazione assorbita, pari a 100 erg per grammo. Il rad è stato sostituito dal gray nel Sistema Internazionale di unità di misura.

1 Rad = 0,01 gray = 0,01 joule di energia assorbiti da un chilogrammo di tessuto.

Il gray (simbolo Gy) è l'unità di misura della dose assorbita di radiazione del Sistema Internazionale. Un'esposizione di un gray corrisponde ad una radiazione che deposita un joule per chilogrammo di materia (sia tessuti biologici che qualsiasi altra cosa).

Il gray ha sostiuito la vecchia unità, il rad che però è ancora talvolta utilizzata; vale la relazione 1 Gy = 100 rad. Il gray fu definito nel 1940 da Louis Harold Gray da cui prende il nome.

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com